

14. 7. 2004

日 本 国 特 許 庁  
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日  
Date of Application: 2 0 0 3 年 7 月 1 5 日

出 願 番 号  
Application Number: 特願 2 0 0 3 - 1 9 7 4 0 8  
[ST. 10/C]: [ J P 2 0 0 3 - 1 9 7 4 0 8 ]

出 願 人  
Applicant(s): 株式会社荏原製作所

REC'D 02 SEP 2004

WIPO

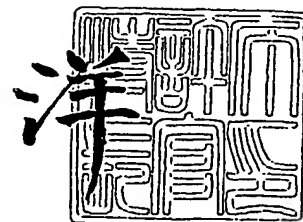
PCT

PRIORITY DOCUMENT  
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN  
COMPLIANCE WITH  
RULE 17.1(a) OR (b)

2 0 0 4 年 8 月 1 9 日

特許庁長官  
Commissioner,  
Japan Patent Office

小 川



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 7 4 4 8 4

【書類名】 特許願

【整理番号】 EB3125P

【提出日】 平成15年 7月15日

【あて先】 特許庁長官殿

【国際特許分類】 B23H 03/00

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作  
                                所内

    【氏名】 野路 郁太郎

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作  
                                所内

    【氏名】 安田 穂積

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作  
                                所内

    【氏名】 飯泉 健

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作  
                                所内

    【氏名】 廣川 一人

【発明者】

    【住所又は居所】 東京都大田区羽田旭町 1 1 番 1 号 株式会社 荏原製作  
                                所内

    【氏名】 小島 巖貴

【特許出願人】

    【識別番号】 000000239

    【氏名又は名称】 株式会社 荏原製作所

    【代表者】 依田 正稔

## 【代理人】

【識別番号】 100091498

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 渡邊 勇

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100092406

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 堀田 信太郎

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100093942

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 小杉 良二

## 【選任した代理人】

【識別番号】 100109896

## 【弁理士】

【氏名又は名称】 森 友宏

## 【手数料の表示】

【予納台帳番号】 026996

【納付金額】 21,000円

## 【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9112447

【包括委任状番号】 0018636

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電解加工装置及び電解加工方法

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 被加工物を加工する加工電極と、  
被加工物に給電する給電電極と、  
前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、  
前記加工電極及び前記給電電極を内部に収納した耐圧容器と、  
前記耐圧容器内に高圧液体を供給する高圧液体供給系を有することを特徴とする電解加工装置。

【請求項 2】 前記加工電極と前記被加工物の間に接触部材を配置したことを特徴とする請求項 1 記載の電解加工装置。

【請求項 3】 前記給電電極と前記加工電極からなる電極部を設け、前記電極部と前記被加工物との間及び／または前記電極部の前記加工電極と前記給電電極との間に接触部材を配置したこと特徴とする請求項 1 記載の電解加工装置。

【請求項 4】 前記接触部材は、イオン交換体または研磨パッドであることを特徴とする請求項 2 または 3 記載の電解加工装置。

【請求項 5】 前記耐圧容器内に供給される高圧液体の圧力は、 $2\text{ kg f / cm}^2$  以上であることを特徴とする請求項 1 乃至 4 のいずれかに記載の電解加工装置。

【請求項 6】 前記高圧液体供給系には、前記耐圧容器内に供給される高圧液体の温度を調節する熱交換器が備えられていることを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の電解加工装置。

【請求項 7】 前記高圧液体供給系には、前記耐圧容器内に供給される高圧液体中の溶存気体を脱気するための脱気装置が備えられていることを特徴とする請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の電解加工装置。

【請求項 8】 被加工物を加工する加工電極と、  
被加工物に給電する給電電極と、  
前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、  
前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に液体

を供給する液体供給系を有し、

前記液体供給系には、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に供給される前記液体の温度を調節する熱交換器が備えられていることを特徴とする電解加工装置。

【請求項 9】 前記加工電極と前記被加工物の間に接触部材を配置したことを特徴とする請求項 8 記載の電解加工装置。

【請求項 10】 前記給電電極と前記加工電極からなる電極部を設け、前記電極部と前記被加工物との間及び／または前記電極部の前記加工電極と前記給電電極との間に接触部材を配置したこと特徴とする請求項 8 記載の電解加工装置。

【請求項 11】 前記接触部材は、イオン交換体または研磨パッドであることを特徴とする請求項 9 または 10 記載の電解加工装置。

【請求項 12】 前記熱交換器は、液温が 25℃以下となるように前記被加工物と前記イオン交換体との間に供給される前記液体を冷却することを特徴とする請求項 8 乃至 11 のいずれかに記載の電解加工装置。

【請求項 13】 電極と該電極の表面を覆うイオン交換体とを有する電極部材を配置した電極部と、

前記電極部材のイオン交換体に被加工物を接触させる保持部と、

前記イオン交換体と前記保持部で保持した被加工物との間に液体を供給する液体供給系と、

前記電極部と前記被加工物との間に相對運動を生じさせる駆動機構と、

前記電極部の各電極部材の電極に接続される電源とを備え、

被加工物の被加工面のある一点の前記イオン交換体に対する該イオン交換体との連続接触時間は、10 msec 以下であることを特徴とする電解加工装置。

【請求項 14】 前記電極を覆うイオン交換体は、前記保持部で保持した被加工物と 0.2～1.5 mm の接触幅で接触するように構成されていることを特徴とする請求項 13 記載の電解加工装置。

【請求項 15】 前記駆動機構は、前記電極部と前記被加工物とを 0.2 m/sec 以上の相對速度で相對運動させるように構成されていることを特徴とする請求項 13 または 14 記載の電解加工装置。

【請求項 16】 電極と該電極の表面を覆うイオン交換体とを有する電極部材を配置した電極部と、

前記電極部材のイオン交換体に被加工物を接触させる保持部と、

前記イオン交換体と前記保持部で保持した被加工物との間に液体を供給する液体供給系と、

前記電極部と前記被加工物との間に相対運動を生じさせる駆動機構と、

前記電極部の各電極部材の電極に接続される電源とを備え、

前記電源は、前記電極部と前記被加工物との間の相対運動に同期して ON/OFF または 正/負 制御されることを特徴とする電解加工装置。

【請求項 17】 前記電源は、前記電極部の電極と前記被加工物との間における該電極部の幅方向の相対速度が  $0.2 \text{ m/s}$  以上の時に ON となるように ON/OFF 制御されることを特徴とする請求項 16 記載の電解加工装置。

【請求項 18】 隣り合う前記電極部材の電極を前記電源の陰極と陽極とに交互に接続したことを特徴とする請求項 13 乃至 17 のいずれかに記載の電解加工装置。

【請求項 19】 前記液体は、純水、超純水または電気伝導度が  $500 \mu\text{S/cm}$  以下の液体であることを特徴とする請求項 1 乃至 18 のいずれかに記載の電解加工装置。

【請求項 20】 電極部に電圧を印加し、高圧液体を介して被加工物の加工を行うことを特徴とする電解加工方法。

【請求項 21】 前記高圧液体は、前記電極部と前記被加工物との間に供給されることを特徴とする請求項 20 記載の電解加工方法。

【請求項 22】 前記被加工物と前記電極部を前記高圧液体に浸漬させつつ被加工物の加工を行うことを特徴とする請求項 20 または 21 記載の電解加工方法。

【請求項 23】 前記電極部は、被加工物を加工する加工電極と前記被加工物に給電する給電電極とからなることを特徴とする請求項 20 乃至 22 のいずれかに記載の電解加工方法。

【請求項 24】 前記高圧液体の圧力は、 $2 \text{ kgf/cm}^2$  であることを特

徴とする請求項 20 乃至 23 のいずれかに記載の電解加工方法。

【請求項 25】 被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極とを用意し、

前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に温度を調整した液体を供給しつつ、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加して被加工物の加工を行うことを特徴とする電解加工方法。

【請求項 26】 被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極とを用意し、

前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に溶存気体を脱気した液体を供給しつつ、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加して被加工物の加工を行うことを特徴とする電解加工方法。

【請求項 27】 前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置したことを特徴とする請求項 20 乃至 26 のいずれかに記載の電解加工方法。

【請求項 28】 電極の表面を覆うイオン交換体と保持部で保持した被加工物とを、被加工物の被加工面のある一点の前記イオン交換体に対する該イオン交換体との接触時間が 10 msec 以下となるように、互いに接触させながら相対運動させ、液体の存在下で、前記電極に電圧を印加して被加工物を加工することを特徴とする電解加工方法。

【請求項 29】 前記イオン交換体と前記保持部で保持した被加工物とを、0.2～1.5 mm の接触幅で互いに接触させることを特徴とする請求項 28 記載の電解加工方法。

【請求項 30】 前記イオン交換体と前記保持部で保持した被加工物とを互いに線状に接触させながら 0.2 m/sec 以上の相対速度で相対運動させることを特徴とする請求項 28 または 29 記載の電解加工方法。

【請求項 31】 平行に配置した複数の電極の表面を覆うイオン交換体と保持部で保持した被加工物とを互いに接触させながら相対運動させ、液体の存在下で、前記相対運動に同期して ON/OFF 制御された電圧を前記電極に印加して被加工物を加工することを特徴とする電解加工方法。

【請求項 32】 前記液体は、純水、超純水または電気伝導度が  $500\ \mu\text{s}/\text{cm}$  以下の液体であることを特徴とする請求項 20 乃至 31 のいずれかに記載の電解加工方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電解加工装置及び電解加工方法に係り、特に半導体ウェハ等の基板の表面に形成された導電性材料を加工したり、基板の表面に付着した不純物を除去したりするために使用される電解加工装置及び電解加工方法に関する。

【0002】

【従来の技術】

近年、半導体ウェハ等の基板上に回路を形成するための配線材料として、アルミニウム又はアルミニウム合金に代えて、電気抵抗率が低くエレクトロマイグレーション耐性が高い銅 (Cu) を用いる動きが顕著になっている。この種の銅配線は、基板の表面に設けた微細凹みの内部に銅を埋め込むことによって一般に形成される。この銅配線を形成する方法としては、化学気相成長法 (CVD: Chemical Vapor Deposition)、スパッタリング及びめっきといった手法があるが、いずれにしても、基板のほぼ全表面に銅を成膜して、化学機械的研磨 (CMP: Chemical Mechanical Polishing) により不要の銅を除去するようにしている。

【0003】

図 1 (a) 乃至図 1 (c) は、この種の銅配線基板 W の一製造例を工程順に示すものである。図 1 (a) に示すように、半導体素子が形成された半導体基材 1 上の導電層 1a の上に  $\text{SiO}_2$  からなる酸化膜や Low-k 材膜などの絶縁膜 2 が堆積され、リソグラフィ・エッチング技術によりコンタクトホール 3 と配線溝 4 が形成されている。これらの上に TaN 等からなるバリア膜 5、更にその上に電解めっきの給電層としてのシード層 7 がスパッタリングや CVD 等により形成されている。

【0004】

そして、基板 W の表面に銅めっきを施すことで、図 1 (b) に示すように、半



導体基材 1 のコンタクトホール 3 及び配線溝 4 内に銅を充填するとともに、絶縁膜 2 上に銅膜 6 を堆積する。その後、化学機械的研磨 (CMP) により、絶縁膜 2 上の銅膜 6 及びシード層 7 を除去して、コンタクトホール 3 及び配線溝 4 に充填させた銅膜 6 の表面と絶縁膜 2 の表面とをほぼ同一平面にする。これにより、図 1 (c) に示すように銅膜 6 からなる配線が形成される。

#### 【0005】

また、最近ではあらゆる機器の構成要素において微細化かつ高精度化が進み、サブミクロン領域での物作りが一般的となるにつれて、加工法自体が材料の特性に与える影響は益々大きくなっている。このような状況下においては、従来の機械加工のように、工具が被加工物を物理的に破壊しながら除去していく加工方法では、加工によって被加工物に多くの欠陥を生み出してしまうため、被加工物の特性が劣化してしまう。従って、いかに材料の特性を損なうことなく加工を行うことができるかが問題となってくる。

#### 【0006】

この問題を解決する手段として開発された特殊加工法に、化学研磨や電解加工、電解研磨がある。これらの加工方法は、従来の物理的な加工とは対照的に、化学的溶解反応を起こすことによって、除去加工等を行うものである。従って、塑性変形による加工変質層や転位等の欠陥は発生せず、上述の材料の特性を損なわずに加工を行うといった課題が達成される。

#### 【0007】

上述した電解加工や電解研磨では、被加工物と電解液 (NaCl, NaNO<sub>3</sub>, HF, HCl, HNO<sub>3</sub>, NaOH 等の水溶液) との電気化学的相互作用によって加工が進行するとされている。従って、このような電解質を含む電解液を使用する限り、その電解液で被加工物が汚染されることは避けられない。

また、化学機械的電解研磨のように、めっきをしながら CMP で削るというプロセスも発表されているが、めっき成長面に機械加工が付加されることで、めっきの異常成長を促すことにもなり、膜質に問題を起こしている。

#### 【0008】

このため、最近では、環境負荷、加工される製品の汚染または作業中の危険性

などを改善させた金属の電解加工方法が開発されつつある（特許文献1、特許文献2等参照）。これらの電解加工方法は、純水または超純水を使用して電解加工を行う方法である。純水または超純水は電気をほとんど通さないため、この電解加工方法では、陽極となる被加工物と陰極となる加工電極との間にイオン交換体を配置して被加工物の電解加工が行われる。被加工物、イオン交換体、加工電極は、総て純水または超純水下に置かれるので、環境負荷の問題及び被加工物の汚染の問題が著しく改善される。また、被加工物である金属は、電解反応により金属イオンとして除去され、イオン交換体に保持される。このように、除去された金属イオンがイオン交換体に保持されるため、被加工物及び液体（純水または超純水）自体の汚染を更に低減させることができ、上記方法は理想の電解加工方法として考えられている。

#### 【0009】

上述したように、イオン交換体を配置した状態で超純水を供給しつつ被加工物を加工する電解加工方法によれば、被加工物の汚染が防止され、環境負荷を著しく低減させることができる。また、上記電解加工方法によれば、各種金属部品の表面に鏡面光沢を与えることができ、さらには、従来の金属機械加工仕上げ方法に必要とされる切削油、研磨剤を含むスラリー、電解液などを不要とすることができる。

#### 【0010】

##### 【特許文献1】

特開 2000-52235号公報

##### 【特許文献2】

特開 2001-64799号公報

#### 【0011】

##### 【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、イオン交換体を用いた電解加工方法では、前述のアドバンテージを有するものの、被加工物の種類や加工条件などによっては、加工した面にピット（微小な穴）が形成されることが判明された。このピットは、電解加工した表面に鏡面光沢ができている場合でも発生している程の肉眼で確認不可能な細孔

である。すなわち、このピットは、走査型電子顕微鏡、レーザー顕微鏡、原子間力顕微鏡等で分析して初めて明らかになる細孔である。

#### 【0012】

このピットは、一般的な機械部品の表面仕上げでは、商品の見栄えに特に悪影響を与えない場合もある。しかしながら、真空機器や圧力機器など、高度の密閉度が要求されるシール面にピットが形成されると、所望の真空または圧力が得られず、さらに金属の腐食を進行させると考えられる。また、半導体デバイスにおいても、ピットが形成されると様々な悪影響を及ぼすと考えられている。

#### 【0013】

本発明は、上記事情に鑑みてなされたもので、被加工物の不良品化を招くと考えられるピットの発生を効果的に防止することができるようにした電解加工装置及び電解加工方法を提供することを目的とする。

#### 【0014】

##### 【課題を解決するための手段】

請求項1に記載の発明は、被加工物を加工する加工電極と、被加工物に給電する給電電極と、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、前記加工電極及び前記給電電極を内部に収納した耐圧容器と、前記耐圧容器内に高圧液体を供給する高圧液体供給系を有することを特徴とする電解加工装置である。

#### 【0015】

図2は、イオン交換体を使用した場合における本発明の加工原理を示すものである。図2は、被加工物10の表面に、加工電極14に取付けたイオン交換体12aと、給電電極16に取付けたイオン交換体12bとを接触又は近接させ、加工電極14と給電電極16との間に電源17を介して電圧を印加しつつ、加工電極14及び給電電極16と被加工物10との間に液体供給部19から超純水等の液体18を供給した状態を示している。

#### 【0016】

超純水のような液自身の抵抗値が大きい液体を使用する場合には、イオン交換体12aを被加工物10の表面に「接触させる」ことが好ましく、このようにイ

オン交換体 12a を被加工物 10 の表面に接触させることにより、電気抵抗を低減させることができ、印加電圧も小さくて済み、消費電力も低減できる。従って、本発明に係る加工における「接触」は、例えば CMP のように物理的なエネルギー（応力）を被加工物に与えるために、「押し付ける」ものではない。

#### 【0017】

これにより、超純水等の液体 18 中の水分子 20 をイオン交換体 12a, 12b で水酸化物イオン 22 と水素イオン 24 に解離し、例えば生成された水酸化物イオン 22 を、被加工物 10 と加工電極 14 との間の電界と超純水等の液体 18 の流れによって、被加工物 10 の加工電極 14 と対面する表面に供給して、ここでの被加工物 10 近傍の水酸化物イオン 22 の密度を高め、被加工物 10 の原子 10a と水酸化物イオン 22 を反応させる。反応によって生成された反応物質 26 は、液体 18 中に溶解し、被加工物 10 の表面に沿った超純水等の液体 18 の流れによって被加工物 10 から除去される。これにより、被加工物 10 の表面層の除去加工が行われる。

#### 【0018】

このように、本加工法は純粹に被加工物との電気化学的相互作用のみにより被加工物の除去加工を行うものであり、CMP のような研磨部材と被加工物との物理的な相互作用及び研磨液中の化学種との化学的相互作用の混合による加工とは加工原理が異なるものである。この方法では、被加工物 10 の加工電極 14 と対面する部位が加工されるので、加工電極 14 を移動させることで、被加工物 10 の表面を所望の表面形状に加工することができる。

#### 【0019】

なお、本発明に係る電解加工装置は、電気化学的相互作用による溶解反応のみにより被加工物の除去加工を行うため、CMP のような研磨部材と被加工物との物理的な相互作用及び研磨液中の化学種との化学的相互作用の混合による加工とは加工原理が異なるものである。従って、材料の特性を損なわずに除去加工を行うことが可能であり、例えば前述の Low-k 材に挙げられる機械的強度の小さい材料に対しても、物理的な相互作用を及ぼすことなく除去加工が可能である。また、通常の電解加工装置と比較しても、電解液に  $500\ \mu\text{S}/\text{cm}$  以下の液体

、好ましくは純水、更に好ましくは超純水を用いるため、被加工物表面への汚染も大幅に低減させることが可能であり、また加工後の廃液の処理も容易となる。

#### 【0020】

上述した電解加工にあつては、一般に、電解加工時間を長くするに伴いピットの数が増える傾向にある。経験的には電解加工時に被加工物の表面にガス（気泡）が発生するほど、ピットの数も多くなってくることが明らかになっている。水が含まれている電解液を用いた場合、電極で発生する酸素や水素の量が多いほどピットの数も増大するため、このピットはガスピットとも呼ばれている。

#### 【0021】

本発明によれば、液体中へのガスの溶解容量は、液体の圧力に比例して増加し、気泡発生量は、ガス発生量から液体中に溶解したガスの量（ガス溶存量）の差で求められるため、高圧液体の下で電解加工を行うことで、電極及び被加工物表面で発生するガスの溶解速度及び溶解量を増大させ、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させて、ピットの発生量を減少させることができる。

#### 【0022】

請求項2に記載の発明は、前記加工電極と前記被加工物の間に接触部材を配置したことを特徴とする請求項1記載の電解加工装置である。

請求項3に記載の発明は、前記給電電極と前記加工電極からなる電極部を設け、前記電極部と前記被加工物との間及び／または前記電極部の前記加工電極と前記給電電極との間に接触部材を配置したこと特徴とする請求項1記載の電解加工装置である。

#### 【0023】

請求項4に記載の発明は、前記接触部材は、イオン交換体または研磨パッドであることを特徴とする請求項2または3記載の電解加工装置である。

このように、イオン交換体を使用することで、超純水等の液体中の水分子の水酸化イオンと水素イオンへの解離を促進し、電解加工を行うことができる。

請求項5に記載の発明は、前記耐圧容器内に供給される高圧液体の圧力は、 $2\text{ kgf/cm}^2$ 以上であることを特徴とする請求項1乃至4のいずれかに記載の電解加工装置である。耐圧容器内に供給される高圧液体の圧力は、一般的には2

$\text{kgf/cm}^2$  以上であることが好ましい。

【0024】

請求項6に記載の発明は、前記高圧液体供給系には、前記耐圧容器内に供給される高圧液体の温度を調節する熱交換器が備えられていることを特徴とする請求項1乃至5のいずれかに記載の電解加工装置である。

液体中へのガスの溶解速度及び溶解容量は、液体の温度の増加と共に減少する。このため、耐圧容器内に供給される高圧液体の温度を低下させることで、液体中へのガスの溶解速度及び溶解容量を増大させて、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させ、同時に液体の温度によるガスの膨張を抑えることができる。

【0025】

請求項7に記載の発明は、前記高圧液体供給系には、前記耐圧容器内に供給される高圧液体中の溶存気体を脱気するための脱気装置が備えられていることを特徴とする請求項1乃至6のいずれかに記載の電解加工装置である。

液体中へのガスの溶解容量は、溶液中に溶存ガスが存在する場合、溶存ガスに相当するガス分圧分だけ減少し、またガス溶解速度は、溶液中の既存ガス量の増加と共に残存するガス溶解容量が減少するため減少する。このため、耐圧容器内に供給される高圧液体中の溶存気体を予め脱気しておくことで、液体中へのガス溶解容量及びガス溶解速度を増加させて、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させることができる。

【0026】

請求項8に記載の発明は、被加工物を加工する加工電極と、被加工物に給電する給電電極と、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加する電源と、記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に液体を供給する液体供給系を有し、前記液体供給系には、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に供給される前記液体の温度を調節する熱交換器が備えられていることを特徴とする電解加工装置である。

【0027】

これにより、前述と同様に、液体中へのガスの溶解速度及び溶解容量は、液体の温度の増加と共に減少するため、被加工物と加工電極または給電電極の少なく

とも一方との間に供給される液体の温度を低下させることで、液体中へのガスの溶解速度及び溶解容量を増大させて、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させ、同時に温度によるガスの膨張を抑えることができる。

#### 【0028】

請求項 9 に記載の発明は、前記加工電極と前記被加工物の間に接触部材を配置したことを特徴とする請求項 8 記載の電解加工装置である。

請求項 10 に記載の発明は、前記給電電極と前記加工電極からなる電極部を設け、前記電極部と前記被加工物との間及び／または前記電極部の前記加工電極と前記給電電極との間に接触部材を配置したこと特徴とする請求項 8 記載の電解加工装置である。

#### 【0029】

請求項 11 に記載の発明は、前記接触部材は、イオン交換体または研磨パッドであることを特徴とする請求項 9 または 10 記載の電解加工装置である。

請求項 12 に記載の発明は、前記熱交換器は、液温が 25℃以下となるように前記被加工物と前記イオン交換体との間に供給される前記液体を冷却することを特徴とする請求項 8 乃至 11 のいずれかに記載の電解加工装置である。この被加工物とイオン交換体との間に供給される液体の液温は、一般的には 25℃以下であることが好ましい。

#### 【0030】

請求項 13 に記載の発明は、電極と該電極の表面を覆うイオン交換体とを有する電極部材を配置した電極部と、前記電極部材のイオン交換体に被加工物を接触させる保持部と、前記イオン交換体と前記保持部で保持した被加工物との間に液体を供給する液体供給系と、前記電極部と前記被加工物との間に相對運動を生じさせる駆動機構と、前記電極部の各電極部材の電極に接続される電源とを備え、被加工物の被加工面のある一点の前記イオン交換体に対する該イオン交換体との連続接触時間は、10 msec 以下であることを特徴とする電解加工装置である。

被加工物の被加工面のある一点のイオン交換体に対する該イオン交換体との連続接触時間は、一般には 10 msec 以下であり、好ましくは 5 msec 以下、

更に好ましくは  $1.5 \text{ m s e c}$  以下である。

#### 【0031】

請求項 14 に記載の発明は、前記電極を覆うイオン交換体は、前記保持部で保持した被加工物と  $0.2 \sim 1.5 \text{ mm}$  の接触幅で接触するように構成されていることを特徴とする請求項 13 記載の電解加工装置である。

液体中へのガス溶解量は、ガス溶解時間に依存して増加し、最終的にはガス溶解容量に漸近する。このため、ガス溶解時間が大きいほど、液体中へのガス溶解量は増加する。そこで、電極を覆うイオン交換体が保持部で保持した被加工物と線状に接触する接触幅をより狭くすることで、被加工物の任意の加工点に対する電極の通過時間（加工時間）を相対的に短くすることができ、これによって、ガス発生時間を短くするとともに、ガス溶解時間を長くして、ガス溶解量を増加させて、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させることができる。この接触幅は、一般的には  $0.2 \sim 1.5 \text{ mm}$  であり、好ましくは  $0.2 \sim 1.2 \text{ mm}$ 、更に好ましくは  $0.2 \sim 1.0 \text{ mm}$  である。

#### 【0032】

請求項 15 に記載の発明は、前記駆動機構は、前記電極部と前記被加工物とを  $0.2 \text{ m/s e c}$  以上の相対速度で相対運動させるように構成されていることを特徴とする請求項 13 または 14 記載の電解加工装置である。

電解加工において、発生したガスは、電極と被加工物との間に存在する液体中に溶解する。このため、電極と被加工物との相対速度をより大きくして、電極と被加工物と間に存在し、電極と被加工物との相対速度に伴って置換される流量を大きくすることで、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させることができる。この相対速度は、一般的には  $0.2 \text{ m/s e c}$  以上であり、好ましくは  $0.5 \text{ m/s e c}$  以上、更に好ましくは  $0.7 \text{ m/s e c}$  以上である。

#### 【0033】

請求項 16 に記載の発明は、電極と該電極の表面を覆うイオン交換体とを有する電極部材を配置した電極部と、前記電極部材のイオン交換体に被加工物を接触させる保持部と、前記イオン交換体と前記保持部で保持した被加工物との間に液体を供給する液体供給系と、前記電極部と前記被加工物との間に相対運動を生じ



させる駆動機構と、前記電極部の各電極部材の電極に接続される電源とを備え、前記電源は、前記電極部と前記被加工物との間の相対運動に同期してON/OFFまたは正/負制御されることを特徴とする電解加工装置である。

#### 【0034】

これにより、電極部と被加工物との間の相対運動と電源のON/OFF制御を同期させ、例えば、電極部の電極と被加工物との間における該電極部の幅方向の相対速度が $0.2\text{ m/sec}$ 以上の相対速度が速い区間でのみ加工が行われるようにすることで、前述の相対速度をより大きくした場合と同様にして、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させることができる。

#### 【0035】

請求項17に記載の発明は、前記電源は、前記電極部の電極と前記被加工物との間における該電極部の幅方向の相対速度が $0.2\text{ m/sec}$ 以上の時にONとなるようにON/OFF制御されることを特徴とする請求項16記載の電解加工装置である。

請求項18に記載の発明は、隣り合う前記電極部材の電極を前記電源の陰極と陽極とに交互に接続したことを特徴とする請求項13乃至17のいずれかに記載の電解加工装置である。

#### 【0036】

請求項19に記載の発明は、前記液体は、純水、超純水または電気伝導度が $500\text{ }\mu\text{ S/cm}$ 以下の液体であることを特徴とする請求項1乃至18のいずれかに記載の電解加工装置。

請求項20に記載の発明は、電極部に電圧を印加し、高圧液体を介して被加工物の加工を行うことを特徴とする電解加工方法である。

請求項21に記載の発明は、前記高圧液体は、前記電極部と前記被加工物との間に供給されることを特徴とする請求項20記載の電解加工方法である。

#### 【0037】

請求項22に記載の発明は、前記被加工物と前記電極部を前記高圧液体に浸漬させつつ被加工物の加工を行うことを特徴とする請求項20または21記載の電解加工方法である。

請求項 23 に記載の発明は、前記電極部は、被加工物を加工する加工電極と前記被加工物に給電する給電電極とからなることを特徴とする請求項 20 乃至 22 のいずれかに記載の電解加工方法である。

請求項 24 に記載の発明は、前記高圧液体の圧力は、 $2\text{ kgf/cm}^2$ であることを特徴とする請求項 20 乃至 23 のいずれかに記載の電解加工方法である。

#### 【0038】

請求項 25 に記載の発明は、被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極とを用意し、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に温度を調整した液体を供給しつつ、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加して被加工物の加工を行うことを特徴とする電解加工方法である。

請求項 26 に記載の発明は、被加工物に近接自在な加工電極と被加工物に給電する給電電極とを用意し、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間に溶存気体を脱気した液体を供給しつつ、前記加工電極と前記給電電極との間に電圧を印加して被加工物の加工を行うことを特徴とする電解加工方法である。

#### 【0039】

請求項 27 に記載の発明は、前記被加工物と前記加工電極または前記給電電極の少なくとも一方との間にイオン交換体を配置したことを特徴とする請求項 20 乃至 26 のいずれかに記載の電解加工方法である。

請求項 28 に記載の発明は、電極の表面を覆うイオン交換体と保持部で保持した被加工物とを、被加工物の被加工面のある一点の前記イオン交換体に対する該イオン交換体との接触時間が  $10\text{ msec}$  以下となるように、互いに接触させながら相対運動させ、液体の存在下で、前記電極に電圧を印加して被加工物を加工することを特徴とする電解加工方法である。

#### 【0040】

請求項 29 に記載の発明は、前記イオン交換体と前記保持部で保持した被加工物とを、 $0.2\sim 1.5\text{ mm}$ の接触幅で互いに接触させることを特徴とする請求項 28 記載の電解加工方法である。

請求項 30 に記載の発明は、前記イオン交換体と前記保持部で保持した被加工物とを互いに線状に接触させながら  $0.2 \text{ m/sec}$  以上の相対速度で相対運動させることを特徴とする請求項 28 または 29 記載の電解加工方法である。

#### 【0041】

請求項 31 に記載の発明は、平行に配置した複数の電極の表面を覆うイオン交換体と保持部で保持した被加工物とを互いに接触させながら相対運動させ、液体の存在下で、前記相対運動に同期して ON/OFF 制御された電圧を前記電極に印加して被加工物を加工することを特徴とする電解加工方法である。

請求項 32 に記載の発明は、前記液体は、純水、超純水または電気伝導度が  $500 \mu\text{S/cm}$  以下の液体であることを特徴とする請求項 20 乃至 31 のいずれかに記載の電解加工方法である。

#### 【0042】

##### 【発明の実施の形態】

以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。なお、以下の説明では、被加工物として基板を使用し、電解加工装置で基板を加工するようにした例を示しているが、本発明を基板以外にも適用できることは言うまでもない。

#### 【0043】

図 3 は、本発明の第 1 の実施の形態における電解加工装置の系統図を示す。この電解加工装置は、密閉可能な耐圧容器 200 を有する装置本体 202 と、この装置本体 202 の耐圧容器 200 に高圧液体を供給する高圧液体供給系 204 と、この耐圧容器 200 内の液体を外部に排出する液体排出系 206 と、補助ライン系 208 とから主に構成されている。

#### 【0044】

装置本体 202 には、一对の加工電極 210 と給電電極 212 を有し、この加工電極 210 と給電電極 212 の露出表面をイオン交換体 214, 216 でそれぞれ覆った電極板 218 と、半導体ウェハ等の基板 W を着脱自在に保持する基板保持部 220 とが備えられている。この電極板 218 と基板保持部 220 は、耐圧容器 200 の内部に互いに対峙して配置されている。電極板 218 は、耐圧容

器 200 を貫通して延び、駆動部 222 を介して前後動自在な主軸 224 の先端に固着されている。一方、基板保持部 220 は、耐圧容器 200 を貫通して延びる回転軸 226 の先端に固着され、この回転軸 226 は、モータ 228 の出力軸にカップリング 230 を介して連結されている。

#### 【0045】

このようなイオン交換体 214, 216 は、例えば、アニオン交換能又はカチオン交換能を付与した不織布で構成されている。カチオン交換体は、好ましくは強酸性カチオン交換基（スルホン酸基）を担持したものであるが、弱酸性カチオン交換基（カルボキシル基）を担持したものでもよい。また、アニオン交換体は、好ましくは強塩基性アニオン交換基（4 級アンモニウム基）を担持したものであるが、弱塩基性アニオン交換基（3 級以下のアミノ基）を担持したものでもよい。

#### 【0046】

ここで、例えば強塩基性アニオン交換能を付与した不織布は、繊維径 20～50  $\mu\text{m}$  で空隙率が約 90% のポリオレフィン製の不織布に、 $\gamma$  線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖をアミノ化して 4 級アンモニウム基を導入して作製される。導入されるイオン交換基の容量は、導入するグラフト鎖の量により決定される。グラフト重合を行うためには、例えばアクリル酸、スチレン、メタクリル酸グリシジル、更にはスチレンスルホン酸ナトリウム、クロロメチルスチレン等のモノマーを用い、これらのモノマー濃度、反応温度及び反応時間を制御することで、重合するグラフト量を制御することができる。従って、グラフト重合前の素材の重量に対し、グラフト重合後の重量の比をグラフト率と呼ぶが、このグラフト率は、最大で 500% が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で 5 meq/g が可能である。

#### 【0047】

強酸性カチオン交換能を付与した不織布は、前記強塩基性アニオン交換能を付与する方法と同様に、繊維径 20～50  $\mu\text{m}$  で空隙率が約 90% のポリオレフィン製の不織布に、 $\gamma$  線を照射した後グラフト重合を行ういわゆる放射線グラフト

重合法により、グラフト鎖を導入し、次に導入したグラフト鎖を、例えば加熱した硫酸で処理してスルホン酸基を導入して作製される。また、加熱したリン酸で処理すればリン酸基が導入できる。ここでグラフト率は、最大で500%が可能であり、グラフト重合後に導入されるイオン交換基は、最大で5 meq/gが可能である。

#### 【0048】

イオン交換体214, 216の素材の材質としては、ポリエチレン、ポリプロピレン等のポリオレフィン系高分子、又はその他有機高分子が挙げられる。また素材形態としては、不織布の他に、織布、シート、多孔質材、短繊維等が挙げられる。

#### 【0049】

ここで、ポリエチレンやポリプロピレンは、放射線（ $\gamma$ 線と電子線）を先に素材に照射する（前照射）ことで、素材にラジカルを発生させ、次にモノマーと反応させてグラフト重合することができる。これにより、均一性が高く、不純物が少ないグラフト鎖ができる。一方、その他の有機高分子は、モノマーを含浸させ、そこに放射線（ $\gamma$ 線、電子線、紫外線）を照射（同時照射）することで、ラジカル重合することができる。この場合、均一性に欠けるが、ほとんどの素材に適用できる。

#### 【0050】

このように、イオン交換体214, 216をアニオン交換能又はカチオン交換能を付与した不織布で構成することで、純水又は超純水や電解液等の液体が不織布の内部を自由に移動して、不織布内部の水分解触媒作用を有する活性点に容易に到達することが可能となって、多くの水分子が水素イオンと水酸化物イオンに解離される。更に、解離によって生成した水酸化物イオンが純水又は超純水や電解液等の液体の移動に伴って効率良く加工電極の表面に運ばれるため、低い印加電圧でも高電流が得られる。

#### 【0051】

ここで、イオン交換体214, 216をアニオン交換能又はカチオン交換能の一方を付与したもののみで構成すると、電解加工できる被加工材料が制限される

ばかりでなく、極性により不純物が生成しやすくなる。そこで、アニオン交換能を有するアニオン交換体とカチオン交換能を有するカチオン交換体とを重ね合わせたり、イオン交換体 214, 216 自体にアニオン交換能とカチオン交換能の双方の交換基を付与するようにしたりしてもよく、これにより、被加工材料の範囲を広げるとともに、不純物を生成しにくくすることができる。

#### 【0052】

この実施の形態では、加工電極 210 は、電源 232 の陰極に、給電電極 212 は、電源 232 の陽極にそれぞれ接続されている。これは、例えば、銅を加工する場合においては、陰極側に電解加工作用が生じるためである。加工材料によっては、電源 232 の陰極に接続される電極を給電電極とし、陽極に接続される電極を加工電極としてもよい。すなわち、被加工材料が例えば銅やモリブデン、鉄である場合には、陰極側に電解加工作用が生じるため、電源 232 の陰極に接続した電極が加工電極 210 となり、陽極に接続した電極が給電電極 212 となる。一方、被加工材料が例えばアルミニウムやシリコンである場合には、陽極側で電解加工作用が生じるため、電源 232 の陽極に接続した電極が加工電極となり、陰極に接続した電極が給電電極となる。

#### 【0053】

ここで、加工電極 210 や給電電極 212 は、電解反応により、酸化又は溶出が一般に問題となる。このため、電極の素材として、電極に広く使用されている金属や金属化合物よりも、炭素、比較的不活性な貴金属、導電性酸化物又は導電性セラミックスを使用することが好ましい。この貴金属を素材とした電極としては、例えば、下地の電極素材にチタンを用い、その表面にめっきやコーティングで白金又はイリジウムを付着させ、高温で焼結して安定化と強度を保つ処理を行ったものが挙げられる。セラミックス製品は、一般に無機物質を原料として熱処理によって得られ、各種の非金属・金属の酸化物・炭化物・窒化物などを原料として、様々な特性を持つ製品が作られている。この中に導電性を持つセラミックスもある。電極が酸化すると電極の電気抵抗値が増加し、印加電圧の上昇を招くが、このように、白金などの酸化しにくい材料やイリジウムなどの導電性酸化物で電極表面を保護することで、電極素材の酸化による導電性の低下を防止するこ

とができる。

#### 【0054】

高圧液体供給系204は、純水、好ましくは超純水を輸送する純水ライン240を備え、この純水ライン240に該純水ライン240に沿って流れる純水の温度を調整する熱交換器242と、純水ライン240に沿って流れる純水中の溶存気体を脱気する脱気装置244が介装されている。そして、この脱気装置244の下流側で、内部に開閉弁246を介装した初期給水ライン248と、高圧（超）純水製造装置250を介装した高圧純水供給ライン254に分岐し、再び合流して装置本体202の耐圧容器200に接続されている。

#### 【0055】

これにより、純水ライン240に沿って流れる純水を、先ず熱交換器242を通過させて、その液温が25℃以下となるように冷却する。そして、脱気装置244を通過させることで、初期の溶存ガスを除去（脱気）する。初期段階では、開閉弁246を開くことで、初期給水ライン248を通して、この冷却及び脱気した後の純水を耐圧容器200内に供給する。一方、電解加工を行うに当たっては、開閉弁246を閉じて、純水を高圧純水供給ライン254に沿って流す。これによって、高圧純水製造装置250で、純水を2 kgf/cm<sup>2</sup>以上に加圧し、この加圧した純水を耐圧容器200の内部に供給する。

#### 【0056】

なお、この例では、高圧純水製造装置250として、プランジャポンプを使用し、この高圧純水製造装置（プランジャポンプ）250で加圧した純水を耐圧容器200内に供給し、これによって、予め溜めておいた耐圧容器200内の純水を所定の圧力に加圧するようにしている。

液体排出系206は、内部に開閉弁256を介装した排水ライン258を有しており、この開閉弁256を開閉することで、耐圧容器200内の液体の排出及び遮断が行えるようになっている。

#### 【0057】

補助ライン系208は、内部に開閉弁260を介装して耐圧容器200に接続した、排水兼ガス抜き用の補助ライン262を有しており、この補助ライン26

2に、内部に開閉弁264を介装した不活性ガス供給ライン266と、耐圧容器200の限界圧力より低い圧力で開くリリーフ弁268を備えた安全ライン270が接続され、更に、耐圧容器200内の液体（圧力純水）の圧力を検出する圧力計272が備えられている。

#### 【0058】

これにより、不活性ガス供給ライン266の開閉弁264を開くことで、例えばN<sub>2</sub>ガス等の不活性ガスを耐圧容器200内に供給することができる。また、耐圧容器200の限界圧力より低い圧力で開くリリーフ弁268を備えた安全ライン270を備え、耐圧容器200内がこの限界圧力に達する前にリリーフ弁268を介して耐圧容器200内の液体（純水）の圧力を開放することで、耐圧容器200が液体圧で破壊されることを防止することができる。

#### 【0059】

ここで、純水は、例えば電気伝導度が $10\mu\text{S}/\text{cm}$ （1atm, 25℃換算、以下同じ）以下の水であり、超純水は、例えば電気伝導度が $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の水である。このように電解質を含まない純水又は超純水を使用して電解加工を行うことで、基板等の被加工物の表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくすることができる。

#### 【0060】

純水又は超純水の代わりに、電気伝導度 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体や、任意の電解液、例えば純水又は超純水に電解質を添加した電解液を使用してもよい。電解液を使用することで、電気抵抗を低減して消費電力を削減することができる。この電解液としては、例えば、NaClやNa<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>等の中性塩、HClやH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>等の酸、更には、アンモニア等のアルカリなどの溶液を使用することができ、被加工物の特性によって適宜選択して使用することができる。

#### 【0061】

純水又は超純水の代わりに、純水又は超純水に界面活性剤等を添加して、電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下（比抵抗で $10\text{M}\Omega\cdot\text{cm}$ 以上）にした液体を使用してもよい。このように、純水又は超純水に界面活性剤を添加することで、基板



Wとイオン交換体214, 216の界面にイオンの移動を防ぐ様な抑制作用を有する層を形成し、これによって、イオン交換（金属の溶解）の集中を緩和して被加工面の平坦性を向上させることができる。ここで、界面活性剤濃度は、100ppm以下が好ましい。なお、電気伝導度の値があまり高いと電流効率が下がり、加工速度が遅くなるが、 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、好ましくは、 $50\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下、更に好ましくは、 $0.1\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の電気伝導度を有する液体を使用することで、所望の加工速度を得ることができる。

#### 【0062】

次に、この実施の形態における電解加工装置を使用した電解加工例について説明する。

まず、基板保持部220で基板Wを保持する。この時、耐圧容器200内は空の状態、また電極板218は、基板保持部220で保持した基板Wと所定間隔を隔てた対峙位置に位置にある。

#### 【0063】

この状態で、不活性ガス供給ライン266の開閉弁264を開き、耐圧容器200内に $\text{N}_2$ ガス等の不活性ガスを供給して、耐圧容器200内を $\text{N}_2$ ガス等の不活性ガスで置換する。このように、電解加工に先立って、耐圧容器200内の $\text{O}_2$ 等の気体を $\text{N}_2$ ガス等の不活性ガスで置換することで、電解加工で発生し該電解加工で使用する液体（純水）中に溶解させたいガスを外方に押しやって予め除去しておく。特に、 $\text{O}_2$ ガスは大気中に多量に存在するため、予め除去しておくことが望ましい。

#### 【0064】

次に、初期給水ライン248の開閉弁246を開き、熱交換器242で冷却（温度調整）され、脱気装置244で脱気された純水を、初期給水ライン248を通して耐圧容器200内に供給し、同時に、補助ライン262の開閉弁260を開いて、耐圧容器200内を加圧されていない純水で満たしつつ、耐圧容器200内に残留する気泡やガス等を補助ライン262から外部に排出して除去する。

#### 【0065】

そして、初期給水ライン248の開閉弁246を閉じ、高圧純水供給ライン2

54を通して、高圧純水製造装置250で発生した高圧純水を耐圧容器200内に供給し、これによって、耐圧容器200内を、例えば $2\text{ kgf/cm}^2$ で加圧された純水で満たす。なお、この例では、前述のように、高圧純水製造装置250として、プランジャポンプを使用し、耐圧容器200内に満たされた加圧されていない純水をプランジャポンプから吐出される純水で加圧するようにしているが、これに限定されないことは勿論である。

#### 【0066】

このように、耐圧容器200内を高圧純水で満たした状態で、電解加工を開始する。

先ず、駆動部222を駆動させて、電極板218を基板保持部220で保持した基板Wに向けて前進させ、このイオン交換体214、216を基板保持部220で保持した基板Wに接触させる。この状態で、モータ228を駆動して基板Wを基板保持部220と一体に回転させる。そして、電源232により加工電極210と給電電極212との間に所定の電圧を印加し、イオン交換体214、216により生成された水素イオン又は水酸化物イオンによって、加工電極（陰極）210において基板Wの表面の導電体膜、例えば図1に示す銅膜6等の電解加工を行う。

#### 【0067】

電解加工中には、例えば加工電極210と給電電極212との間に印加する電圧、又はこの間を流れる電流をモニタ部でモニタして、エンドポイント（加工終点）を検知する。

#### 【0068】

ここで、超純水のような液自身の抵抗値が大きい液体を使用する場合には、イオン交換体214、216を基板Wに接触させることにより、電気抵抗を低減させることができ、印加電圧も小さくて済み、消費電力も低減できる。この「接触」は、例えばCMPのように物理的なエネルギー（応力）を被加工物に与えるために、「押し付ける」ことを意味するものではない。すなわち、CMPにおいては、一般に20～50 kPa程度の押圧力で基板を研磨面に押し付けているが、この実施の形態の電解加工装置では、例えば、20 kPa以下の圧力でイオン交

換体 214, 216 を基板 W に接触させればよく、10 kPa 以下の圧力でも十分除去加工効果が得られる。

#### 【0069】

電解加工完了後、加工電極 210 及び給電電極 212 と電源 232 との接続を切り、基板保持部 220 の回転を停止させ、しかる後、電極板 218 を基板保持部 220 から離れる方向に移動させる。

#### 【0070】

そして、先ず、補助ライン 262 の開閉弁 260 を開いて、耐圧容器 200 内の高圧純水の圧抜きを行う。つまり、補助ライン 262 を通して、耐圧容器 200 内の純水の一部及び上部に溜まった気体を外部に排出する。この圧抜きと同時に、不活性ガス供給ライン 266 の開閉弁 264 を開いて、耐圧容器 200 内に  $N_2$  ガス等の不活性ガスを供給する。これにより、高圧純水中に溶存し該高圧純水の圧抜きに伴ってガス化し体積を急増させた  $H_2$  を  $N_2$  ガス等の不活性ガスで希釈して、 $H_2$  が爆発してしまうことを防止する。

しかる後、排水ライン 258 の開閉弁 256 を開き、耐圧容器 200 内の純水を排水ライン 258 を通して外部に排出し、これによって、一連の電解加工を終了する。

#### 【0071】

このように、耐圧容器 200 内を、例えば  $2 \text{ kgf/cm}^2$  以上の圧力の高圧純水で満たした状態で電解加工を行い、更に耐圧容器 200 内に、例えば  $25^\circ\text{C}$  以下の低温の液温の純水（高圧純水）を供給し、しかもこの耐圧容器 200 内に供給される純水（高圧純水）中の溶存気体を予め脱気しておくことで、基板 W の導電体膜、例えば図 1 に示す銅膜 6 等の被加工面にピットが発生することを防止することができる。この原理を以下に説明する。

#### 【0072】

ピットの発生原因となる気泡の発生量（気泡量）は、ガス発生量から純水（液体）中に溶解したガスの量（ガス溶存量）の差、つまり、

$$\text{気泡量} = \text{ガス発生量} - \text{ガス溶存量} \quad \dots (1)$$

で求められる。従って、ガス発生量を減少させるか、または純水中のガス溶存量

を増大させることで、気泡量を減少させることができる。

### 【0073】

ここで、液体中へのガス溶解速度及びガス溶解容量は、液体単位体積（一定温度、 $1\text{ kg}\cdot\text{cm}^2$ ）当たりのガス溶解量（ $C$ ）と、液体体積（ $V$ ）と、液体圧力（＝ガス分圧）（ $P$ ）と初期溶存ガス量に相当するガス分圧（ $P_0$ ）の差（ $P - P_0$ ）の積に比例する。

液体中へのガス溶解速度及びガス溶解容量  $\propto C \times V \times (P - P_0)$  ... (2)

従って、液体中へのガス溶解速度及びガス溶解容量と液体の圧力（水压）との関係は、図4に示すようになる。つまり、液体中へのガスの溶解速度及び溶解容量は、液体の圧力に比例して増加し、また式（1）より、気泡発生量は、ガス発生量から液体中に溶解したガスの量（ガス溶存量）の差で求められるため、高压液体の下で電解加工を行うことで、電極及び被加工物表面で発生したガスの溶解速度及び溶解量を増大させ、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させて、ピットの発生量を減少させることができる。

### 【0074】

ここで、式（2）における液体短期体積当たりのガス溶解量（ $C$ ）は、水温と共に減少する。つまり、ガス溶解量と液体の水温との関係は、図5に示すようになる。これにより、耐圧容器200内に供給される高压液体の温度を低下させることで、液体中へのガスの溶解速度及び溶解容量を増大させて、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させ、同時に液体の温度によるガスの膨張を抑えることができる。

### 【0075】

更に、式（1）に示すように、ガス溶解容量は、液体中に初期溶存ガスが存在する場合、溶存ガス量に相当するガス分圧（ $P_0$ ）分だけ減少する。従って、初期溶存ガス量が  $A, B, C$  ( $A > B > C$ ) である液体と液体の圧力（水压）との関係は、図6に示すようになる。また、ガス溶解速度は、液体中の既存ガス量の増加と共に、残存するガス溶解容量が減少するため減少する。従って、ガス溶解速度と液体中の既存ガス量との関係は、図7に示すようになる。これにより、耐圧容器内に供給される高压液体中の溶存気体を予め脱気しておくことで、液体中へ

のガス溶解容量及びガス溶解速度を増加させて、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させることができる。

#### 【0076】

図8は、本発明の第2の実施の形態における電解加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。図8に示すように、この基板処理装置は、例えば、図1(b)に示すように、表面に導電体膜(被加工物)としての銅膜6を有する基板Wを収納したカセットを搬出入する搬出入部としての一对のロード・アンロード部30と、基板Wを反転させる反転機32と、電解加工装置34とを備えている。これらの機器は直列に配置されており、これらの機器の間で基板Wを搬送して授受する搬送装置としての搬送ロボット36がこれらの機器と平行に配置されている。また、電解加工装置34による電解加工の際に、後述する加工電極と給電電極との間に印加する電圧又はこれらの間を流れる電流をモニタするモニタ部38がロード・アンロード部30に隣接して配置されている。

#### 【0077】

図9は基板処理装置内の電解加工装置34を示す平面図、図10は図9の縦断面図である。図9及び図10に示すように、電解加工装置34は、上下動可能かつ水平面に沿って往復動可能なアーム40と、アーム40の自由端に垂設されて基板Wを下向き(フェイスダウン)に吸着保持する基板保持部42と、アーム40が取付けられる可動フレーム44と、矩形状の電極部46と、電極部46に接続される電源48とを備えている。この実施の形態では、電極部46の大きさは基板保持部42で保持する基板Wの外径よりも一回り大きな大きさに設定されている。

#### 【0078】

図9及び図10に示すように、可動フレーム44の上部には上下動用モータ50が設置されており、この上下動用モータ50には上下方向に延びるボールねじ52が連結されている。ボールねじ52にはアーム40の基部40aが取付けられており、上下動用モータ50の駆動に伴ってアーム40がボールねじ52を介して上下動するようになっている。また、可動フレーム44自体も、水平方向に延びるボールねじ54に取付けられており、往復動用モータ56の駆動に伴って

可動フレーム 44 及びアーム 40 が水平面に沿って往復動するようになっている。

#### 【0079】

基板保持部 42 は、アーム 40 の自由端に設置された自転用モータ 58 に接続されており、この自転用モータ 58 の駆動に伴って回転（自転）するようになっている。また、上述したように、アーム 40 は上下動及び水平方向に往復動可能となっており、基板保持部 42 はアーム 40 と一体となって上下動及び水平方向に往復動可能となっている。

#### 【0080】

電極部 46 の下方には中空モータ 60 が設置されており、この中空モータ 60 の主軸 62 には、この主軸 62 の中心から偏心した位置に駆動端 64 が設けられている。電極部 46 は、その中央において上記駆動端 64 に軸受（図示せず）を介して回転自在に連結されている。また、電極部 46 と中空モータ 60 との間には、周方向に 3 つ以上の自転防止機構が設けられている。

#### 【0081】

図 11 (a) は、この実施の形態における自転防止機構を示す平面図、図 11 (b) は、図 11 (a) の A-A 線断面図である。図 11 (a) 及び図 11 (b) に示すように、電極部 46 と中空モータ 60 との間には、周方向に 3 つ以上（図 11 (a) においては 4 つ）の自転防止機構 66 が設けられている。図 11 (b) に示すように、中空モータ 60 の上面と電極部 46 の下面の対応する位置には、周方向に等間隔に複数の凹所 68, 70 が形成されており、これらの凹所 68, 70 にはそれぞれ軸受 72, 74 が装着されている。軸受 72, 74 には、距離 “e” だけずれた 2 つの軸体 76, 78 の一端部がそれぞれ挿入されており、軸体 76, 78 の他端部は連結部材 80 により互いに連結される。ここで、中空モータ 60 の主軸 62 の中心に対する駆動端 64 の偏心量も上述した距離 “e” と同じになっている。従って、電極部 46 は、中空モータ 60 の駆動に伴って、主軸 62 の中心と駆動端 64 との間の距離 “e” を半径とした、自転を行わない公転運動、いわゆるスクロール運動（並進回転運動）を行うようになっている。

## 【0082】

次に、この実施形態における電極部 46 について説明する。この実施の形態における電極部 46 は複数の電極部材 82 を備えている。図 12 は、この実施の形態における電極部 46 を示す平面図、図 13 は、図 12 の B-B 線断面図、図 14 は、図 13 の部分拡大図である。図 13 及び図 14 に示すように、電極部 46 は、X 方向（図 9 及び図 12 参照）に延びる複数の電極部材 82 を備えており、これらの電極部材 82 は平板状のベース 84 上に並列に配置されている。

## 【0083】

図 14 に示すように、各電極部材 82 は、電源 48（図 9 及び図 10 参照）に接続される電極 86 と、電極 86 の上部に積層されたイオン交換体 88 と、電極 86 及びイオン交換体 88 の表面を一体的に覆うイオン交換体（イオン交換膜）90 とを備えている。イオン交換体 90 は、電極 86 の両側に配置された保持プレート 85 により電極 86 に取付けられている。このこのイオン交換体 88、90 は、接触部材として役割を果たすものである。

ここで、イオン交換体 88、90 には、以下の 4 点が求められる。

## 【0084】

## (1) 加工生成物（ガス含む）の除去

これは、加工レートの安定性、加工レート分布の均一性に影響するためである。このため、「通水性」及び「吸水性」のあるイオン交換体を用いることが好ましい。ここで「通水性」とは、マクロな透過性を意味する。すなわち、素材自体に通水性がなくても、該部材に穴及び溝を切ることによって水が通過できるようになり、通水性を持たせることができる。一方、「吸水性」とは、素材に水がしみ込む性質を意味する。

## 【0085】

## (2) 加工レートの安定性

加工レートの安定性を図るためには、イオン交換材料を多数枚重ねて、イオン交換能力を確保することが好ましいと考えられる。

## (3) 被加工面の平坦性（段差解消能力）

被加工面の平坦性を確保するためには、イオン交換体の加工面の表面平滑性が

良好であることが好ましいと考えられている。更に、硬い部材ほど加工表面の平坦性（段差解消能力）が高いのではないかと考えられている。

#### 【0086】

##### （4）長寿命

機械的寿命に関しては、耐磨耗性の高いイオン交換材料が好ましいと考えられている。

ここで、イオン交換体 88 としては、イオン交換容量の高いイオン交換体を用いることが好ましい。この実施の形態では、厚さが 1 mm の不織布イオン交換体を 3 枚重ねた多層構造としており、イオン交換体 88 の持つトータルのイオン交換容量を増加させている。このようにすることで、電解反応により発生した加工生成物（酸化物やイオン）をイオン交換体 88 内にこの蓄積容量以上に蓄積させないようにして、イオン交換体 88 内に蓄積された加工生成物の形態が変化して、それが加工速度及びその分布に影響を与えることを防止することができる。また、目標とする被加工物の加工量を十分補えるだけのイオン交換容量を確保することができる。なお、イオン交換体 88 のイオン交換容量が高ければ 1 枚としてもよい。

#### 【0087】

また、少なくとも被加工物と対面するイオン交換体 90 は、硬度が高く、しかも良好な表面平滑性を有することが好ましい。ここで、「硬度が高い」とは、剛性が高く、かつ圧縮弾性率が低いことを意味する。硬度が高い材質を用いることにより、パターンウェハ等の、被加工物表面の微細な凹凸に加工部材が倣いにくくなるため、パターンの凸部のみを選択的に除去しやすい。また、「表面平滑性を有する」とは、表面の凹凸が小さいことを意味する。すなわち、イオン交換体が、被加工物であるパターンウェハ等の凹部に接触しにくくなるため、パターンの凸部のみを選択的に除去しやすくなる。このように、表面平滑性を有するイオン交換体 90 とイオン交換容量の大きなイオン交換体 88 とを組み合わせることにより、イオン交換容量が少ないというイオン交換体 90 の短所をイオン交換体 88 により補うことができる。

#### 【0088】



また、イオン交換体 90 としては通水性に優れたものを使用することがより好ましい。純水又は超純水がイオン交換体 90 を通過するように流すことで、水の解離反応を促進させる官能基（強酸性陽イオン交換材料ではスルホン酸基）に十分な水を供給して水分子の解離量を増加させ、水酸化物イオン（もしくは OH ラジカル）との反応により発生した加工生成物（ガスも含む）を水の流れにより除去して、加工効率を高めることができる。従って、純水又は超純水の流れが必要となり、純水又は超純水の流れとしては、一様かつ均一であることが好ましい。このように、一様かつ均一な流れとすることで、イオンの供給及び加工生成物の除去の一様性及び均一性、ひいては加工効率の一様性及び均一性を図ることができる。

#### 【0089】

ここで、本発明は、イオン交換体を用いた電解加工に限られるものではない。例えば、加工液として電解液を用いた場合は、電極の表面に取付けられる加工部材（接触部材）としては、純水や超純水に最適なイオン交換体 88, 90 に代えて、柔らかい研磨パッドや不織布のようなものであってもよい。

#### 【0090】

この実施の形態では、隣り合う電極部材 82 の電極 86 に、電源 48 の陰極と陽極とが交互に接続されている。例えば、電極 86 a（図 13 参照）を電源 48 の陰極に接続し、電極 86 b（図 13 参照）を陽極に接続する。例えば、銅を加工する場合においては、陰極側に電解加工作用が生じるので、陰極に接続した電極 86 a が加工電極となり、陽極に接続した電極 86 b が給電電極となる。このように、この実施の形態では、加工電極と給電電極とが並列に交互に配置される。加工材料によっては、電源 48 の陰極に接続される電極を給電電極とし、陽極に接続される電極を加工電極としてもよいことは、前述と同様である。

#### 【0091】

また、被加工物が錫酸化物やインジウム錫酸化物（ITO）などの導電性酸化物の場合には、被加工物を還元した後に、電解加工を行う。すなわち、図 10 において、電源 48 の陽極に接続した電極が還元電極となり、陰極に接続した電極が給電電極となって、導電性酸化物の還元を行う。続いて、先程給電電極であっ

た電極を加工電極として、還元された導電性酸化物の加工を行う。あるいは、導電性酸化物の還元時の極性を反転させることによって還元電極を加工電極にしてもよい。また、被加工物を陰極にして、陽極電極を対向させることによって導電性酸化物の除去加工ができる。

#### 【0092】

なお、上記の例では、基板の表面に形成した導電体膜としての銅膜6を電解加工するようにした例を示しているが、基板の表面に成膜乃至付着した不要なルテニウム (Ru) 膜も同様にして、すなわちルテニウム膜を陽極となし、陰極に接続した電極を加工電極として、電解加工 (エッチング除去) することができる。

#### 【0093】

このように、加工電極と給電電極とを電極部46のY方向 (電極部材82の長手方向と垂直な方向) に交互に設けることで、基板Wの導電体膜 (被加工物) に給電を行う給電部を設ける必要がなくなり、基板の全面の加工が可能となる。

#### 【0094】

更に、上述したスクロール運動 (第1の相對運動) に加えて、電解加工中に基板保持部42をY方向に所定の距離だけ移動させて、基板Wと電極部材82との間で第2の相對運動を行うことにより、加工量のバラツキをなくすることができる。すなわち、図17 (a) に示すように、スクロール運動 (第1の相對運動) のみを行った場合には、基板WのY方向に沿って加工量に差が生じ、同一形状の加工量分布がピッチPごとに現れるが、電解加工中に、往復運動用モータ56を駆動させてアーム40及び基板保持部42をY方向に図17 (a) に示すピッチPの整数倍だけ移動させて、基板Wと電極部材82との間で第2の相對運動を行う。電解加工中にこのような第2の相對運動を上記第1の相對運動とともに行った場合、例えば、ピッチPの等倍だけ移動させた場合には、図17 (b) に示す基板W上の点Qは、面積 $S_Q$ に相当する加工量だけ加工され、図17 (c) に示す基板W上の点Rは、面積 $S_R$ に相当する加工量だけ加工される。ここで、各加工量分布の形状は互いに等しいため、これらの面積 $S_Q$ 、 $S_R$ は互いに等しくなり、基板W上の点Qと点Rにおける加工量が等しくなる。このように、第1の相對運動とともに第2の相對運動をさせることで基板Wの全面を均一に加工すること

が可能となる。この場合において、第2の相対運動の移動速度は一定であることが好ましい。

#### 【0095】

図13に示すように、電極部46のベース84の内部には、被加工面に純水、より好ましくは超純水を供給するための流路92が形成されており、この流路92は純水供給管94を介して、純水供給系120に接続されている。この純水供給系120は、純水ライン122を備え、この純水ライン122に該純水ライン122に沿って流れる純水の温度を調整する熱交換器124と、純水ライン122に沿って流れる純水中の溶存気体を脱気する脱気装置126が介装されている。これにより、前述の例と同様に、純水ライン122に沿って流れる純水を、先ず熱交換器124を通過させて、その液温が25℃以下となるように冷却し、そして、脱気装置126を通過させることで、初期の溶存ガスを除去（脱気）するよう構成されている。

#### 【0096】

各電極部材82の両側には、前述のように、熱交換器124を通過して冷却（温度調整）され、脱気装置126を通過して脱気されて流路92から供給される純水又は超純水を基板Wと電極部材82のイオン交換体90との間に噴射するための純水噴射ノズル96が設置されている。この純水噴射ノズル96には、電極部材82に対向する基板Wの被加工面、すなわち基板Wとイオン交換体90との接触部分に向けて純水又は超純水を噴射する噴射口98がX方向に沿って複数箇所（図12参照）に設けられている。この純水噴射ノズル96の噴射口98から流路92内の純水又は超純水が基板Wの被加工面全域に供給される。ここで、図14に示すように、純水噴射ノズル96の高さは、電極部材82のイオン交換体90の高さよりも低くなっており、基板Wを電極部材82のイオン交換体90に接触させた際にも、純水噴射ノズル96が基板Wに接触しないようになっている。

#### 【0097】

また、各電極部材82の電極86の内部には、流路92からイオン交換体88に通じる貫通孔100が形成されている。このような構成により、流路92内の

純水又は超純水は、貫通孔100を通してイオン交換体88に供給される。ここで、純水、より好ましくは超純水の代わりに、電気伝導度 $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体や、任意の電解液等を使用しても良いことは前述と同様である。

#### 【0098】

次に、この基板処理装置を用いた基板処理（電解加工）について説明する。まず、例えば、図1（b）に示すように、表面に導電体膜（被加工部）として銅膜6を形成した基板Wを収納したカセットをロード・アンロード部30にセットし、このカセットから1枚の基板Wを搬送ロボット36で取り出す。搬送ロボット36は、取り出した基板Wを必要に応じて反転機32に搬送し、基板Wの導電体膜（銅膜6）を形成した表面が下を向くように反転させる。

#### 【0099】

搬送ロボット36は反転させた基板Wを受け取り、これを電解加工装置34に搬送し、基板保持部42により吸着保持させる。アーム40を移動させて基板Wを保持した基板保持部42を電極部46の直上方の加工位置まで移動させる。次に、上下動用モータ50を駆動して基板保持部42を下降させ、この基板保持部42で保持した基板Wを電極部46のイオン交換体90の表面に接触又は近接させる。この状態で、自転用モータ58を駆動して基板Wを回転させ、同時に中空モータ60を駆動して電極部46をスクロール運動させる。このとき、純水噴射ノズル96の噴射口98から基板Wと電極部材82との間に純水又は超純水を噴射し、また、各電極部46の貫通孔100を通じて純水又は超純水をイオン交換体88に含ませる。この実施の形態では、イオン交換体88に供給された純水又は超純水は各電極部材82の長手方向端部から排出される。

#### 【0100】

そして、電源48により加工電極と給電電極との間に所定の電圧を印加し、イオン交換体88、90により生成された水素イオン又は水酸化物イオンによって、加工電極（陰極）において基板Wの表面の導電体膜（銅膜6）の電解加工を行う。なお、この実施の形態では、基板保持部42を回転させ、同時に電極部46をスクロール運動させて加工を行うようにしているが、電解加工中に往復動用モータ56を駆動させてアーム40及び基板保持部42をY方向に移動させるよう

にしてもよい。

#### 【0101】

つまり、図18(a)に示す状態で、上述したようにピッチPの整数倍だけ基板Wを電極部材82に対してY<sub>1</sub>方向に移動させる。次に、自転用モータ58を駆動させて、基板Wを反時計回りに90度回転させた後、ピッチPの整数倍だけ基板WをY<sub>2</sub>方向に移動させる(図18(b)参照)。同様に、基板Wを反時計回りに90度回転させた後、ピッチPの整数倍だけ基板WをY<sub>1</sub>方向に移動させ(図18(c)参照)、更に基板Wを反時計回りに90度回転させた後、ピッチPの整数倍だけ基板WをY<sub>2</sub>方向に移動させる(図18(d)参照)。このように、基板Wにおける第2の相對運動の方向を往路(Y<sub>1</sub>方向への移動)と復路(Y<sub>2</sub>方向への移動)で変化させることで、加工電極の加工レートに多少のバラツキがあっても、このバラツキを基板W上で均等に分散して、全体として加工の不均一を相殺することができる。

また、基板Wをスクロール運動させてもよく、スクロール運動に代えて、Y方向への直進往復運動を行うこととしてもよい。

#### 【0102】

電解加工中には、加工電極と給電電極との間に印加する電圧、又はこの間を流れる電流をモニタ部38でモニタして、エンドポイント(加工終点)を検知する。すなわち、同じ電圧(電流)を印加した状態で電解加工を行うと、材料によって流れる電流(印加される電圧)に違いが生じる。例えば、図15(a)に示すように、表面に材料Bと材料Aとを順次成膜した基板Wの該表面に電解加工を施したときに流れる電流をモニタすると、材料Aを電解加工している間は一定の電流が流れるが、異なる材料Bの加工に移行する時点で流れる電流が変化する。同様に、加工電極と給電電極との間に印加される電圧にあっても、図15(b)に示すように、材料Aを電解加工している間は一定の電圧が印加されるが、異なる材料Bの加工に移行する時点で印加される電圧が変化する。なお、図15(a)は、材料Bを電解加工するときの方が、材料Aを電解加工するときよりも電流が流れにくくなる場合を、図15(b)は、材料Bを電解加工するときの方が、材料Aを電解加工するときよりも電圧が高くなる場合の例を示している。これによ

り、この電流又は電圧の変化をモニタすることでエンドポイントを確実に検知することができる。

### 【0103】

なお、モニタ部38で加工電極と給電電極との間に印加する電圧、又はこの間を流れる電流をモニタして加工終点を検知するようにした例を説明したが、このモニタ部38で、加工中の基板の状態の変化をモニタして、任意に設定した加工終点を検知するようにしてもよい。この場合、加工終点は、被加工面の指定した部位について、所望の加工量に達した時点、もしくは加工量と相関関係を有するパラメータが所望の加工量に相当する量に達した時点を指す。このように、加工の途中においても、加工終点を任意に設定して検知できるようにすることで、多段プロセスでの電解加工が可能となる。

### 【0104】

電解加工完了後、電源48の接続を切り、基板保持部42と電極部46の回転を停止させ、しかる後、基板保持部42を上昇させ、アーム40を移動させて基板Wを搬送ロボット36に受け渡す。基板Wを受け取った搬送ロボット36は、必要に応じて反転機32に搬送して反転させた後、基板Wをロード・アンロード部30のカセットに戻す。

### 【0105】

この実施の形態において、基板Wと電極部材82のイオン交換体90とを接触させて加工を行う場合、電極部46のイオン交換体90と基板Wの被加工面との接触範囲内で加工が進行する。このため、図16に示すように、この電解加工に際して、イオン交換体90と基板Wの被加工面とは、その接触幅 $w_1$ が、 $0.1 \sim 1.5 \text{ mm}$ 、好ましくは $0.2 \sim 1.2 \text{ mm}$ 、更に好ましくは $0.2 \sim 1.0 \text{ mm}$ で、線状に接触するように構成されている。また、電解加工に際して、電極部46はスクロール運動を行い、基板保持部42で保持された基板Wも回転するのであるが、この電極部46と基板Wとは、 $0.2 \text{ m/sec}$ 以上、好ましくは $0.5 \text{ m/sec}$ 以上、更に好ましくは $0.7 \text{ m/sec}$ 以上の相対速度で相対運動するように構成されている。これにより、基板Wの導電体膜、例えば図1に示す銅膜6等の被加工面にピットが発生することを防止することができる。この

原理を以下に説明する。

### 【0106】

なお、熱交換器 124 を通過して冷却（温度調整）され、脱気装置 126 を通過して脱気されて流路 92 から供給される純水又は超純水を基板 W と電極部材 82 のイオン交換体 90 との間に噴射（供給）することで、基板の被加工面にピットが発生することが防止できることは前述と同様である。

### 【0107】

つまり、液体中へのガス溶解量は、図 19 に示すように、ガス溶解時間に依存して増加し、最終的にはガス溶解容量に漸近する。このため、ガス溶解時間が大きいほど、液体中へのガス溶解量は増加する。そこで、電極 86 を覆うイオン交換体 90 が基板保持部 42 で保持した基板 W と線状に接触する接触幅  $w_1$  をより狭くすることで、基板 W の任意の加工点に対する電極 86 の通過時間（加工時間）を相対的に短くすることができ、これによって、ガス発生時間を短くするとともに、ガス溶解時間を長くして、ガス溶解量を増加させて、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させることができる。

### 【0108】

図 21 に、下記の表 1 に示す電極幅を有する電極 1～4 を使用し、イオン交換体と基板 W の被加工面との接触幅を表 1 に示すように設定して加工を行った時における基板と電極との相対速度と各電極でのピット数の関係を示す。この試験において、イオン交換体と基板の被加工面との接触幅は、電極上に設置するイオン交換膜の張力およびその際の曲率により決まり、イオン交換体自体に絶縁フィルムを貼る等で接触範囲を制限することはしていない。

【表 1】

	電極 1	電極 2	電極 3	電極 4
電極幅	1.5mm	8mm	16mm	24mm
イオン交換体接触幅	1mm	3mm	8mm	16mm

### 【0109】

この図 21 から、相対速度が同じ  $0.22 \text{ m/sec}$  における各電極でのピット数を比較すると、特にイオン交換体と基板の被加工面との接触幅が 1mm と狭

い電極1で良好な結果が得られていることが判る。

#### 【0110】

また、電解加工において、発生したガスは、電極86と基板Wとの間に存在する液体中に溶解する。つまり、液体体積A、B ( $A > B$ ) 中に溶解するガスのガス溶解速度及びガス溶解量と液体の圧力(水力)の関係は、図20に示すようになる。このため、電極86と基板Wとの相対速度をより大きくして、電極86と基板Wと間に存在し、電極86と基板Wとの相対速度に伴って置換される流量を大きくすることで、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させることができる。

#### 【0111】

このことは、前述の図21からも明らかである。つまり、電極86と基板Wとの相対速度を大きくすることで、ピット数を減少させることができる。

これを基板の被加工面のある一点に対する電極(イオン交換体)との接触時間として表すと、図22に示すようになる。この図22から、基板の被加工面のある一点の電極(イオン交換体)に対する接触時間が短いほど、ピット発生数が減少することが判る。

#### 【0112】

上記のイオン交換体90と基板Wの被加工面との接触幅 $w_1$ の好適値と、電極部46と基板Wとの間の相対移動速度の好適値から求められる基板の被加工面のある一点の電極(イオン交換体)に対する電極(イオン交換体)との接触時間は、一般には10 msec以下であり、好ましくは5 msec以下、更に好ましくは1.5 msec以下である。

#### 【0113】

なお、上記の例では、電解加工中に、電源48から電極86に常時電圧を印加して電解加工を行うようにした例を示しているが、電極部46と基板Wとの間の相対的なスクロール運動と同期して、電源48をON/OFF制御するようにしてもよい。

#### 【0114】

つまり、スクロール運動では、図23に示すように、例えば図23(b)に示す電極(イオン交換体)Aに対して垂直な一方向の相対速度： $V \cos \theta$ が常に



変化し、この相対速度が最大となる点（図 23（c）における点 a）や、相対速度がゼロとなる点（図 23（c）における点 b）が存在する。このため、スクロール運動と電源 48 の ON/OFF 制御を同期させ、図 24 に示すように、スクロール運動の相対速度が速い区間でのみ電源 48 を ON として加工が行われるようにすることで、前述の高相対速度によるときの同様なピット減少効果が得られる。このスクロール運動と同期した電源 48 の ON/OFF 制御は、例えばスクロール運動用の回転モータが発するパルス信号やスクロール運動するテーブルに設置した位置センサーからの信号より該テーブルの回転角度を検出し、電源装置の ON/OFF を連動させることで行うことができる。

#### 【0115】

このように、スクロール運動と電源の ON/OFF 制御を同期させ、例えば、電極部の電極と基板の被加工面との間における該電極部の幅方向の相対速度が、 $0.2\text{ m/sec}$  以上、より好ましく  $0.5\text{ m/sec}$  以上、更に好ましくは  $0.7\text{ m/sec}$  以上の相対速度が速い区間でのみ加工が行われるようにすることで、前述の相対速度をより大きくした場合と同様にして、ガス発生箇所での気泡発生量を減少させることができる。

#### 【0116】

この場合にあって、前述と同様に、イオン交換体 90 と基板 W の被加工面とが、その接触幅  $w_1$  が、 $0.1\sim 1.5\text{ mm}$ 、好ましくは  $0.2\sim 1.2\text{ mm}$ 、更に好ましくは  $0.2\sim 1.0\text{ mm}$  で線状に接触することが好ましい。また、基板の被加工面のある一点の電極（イオン交換体）に対する電極（イオン交換体）との接触時間は、一般には  $10\text{ msec}$  以下であり、好ましくは  $5\text{ msec}$  以下、更に好ましくは  $1.5\text{ msec}$  以下である。

#### 【0117】

ここで、 $\theta_a = 45^\circ$ （ON/OFF デューテ 50%）または  $30^\circ$ （ON/OFF デューテ 30%）として、ON 時の最小相対速度  $v$  を  $0.2\text{ m/s}$ 、最大接触時間を  $1.5\text{ msec}$  となる条件で、スクロール半径  $r$ （mm）、スクロール回転数  $N$ （rpm）、回転角度  $\theta$ （deg）及び接触幅  $L$ （mm）の関係を試算した結果を表 2 に示す。

【表 2】

r : mm	10	20	30	10	30
N : rpm	300	150	100	720	240
$\theta$ : deg	45	45	45	30	30
L : mm	1	1	1	1	1
$v(\theta)$ : m/s	0.2	0.2	0.2	0.7	0.7
T : msec	4.5	4.5	4.5	1.5	1.5

## 【0118】

これまで本発明の一実施の形態について説明したが、本発明は上述の実施の形態に限定されず、その技術的思想の範囲内において種々異なる形態にて実施されてよいことは言うまでもない。

## 【0119】

## 【発明の効果】

以上説明したように、本発明によれば、基板等の被加工物に物理的な欠陥を与えて被加工物の特性を損なうことを防止しつつ、電気化学的作用によって、例えばCMPに代わる電解加工等を施すことができ、これによって、CMP処理そのものを省略したり、CMP処理の負荷を低減したり、更には基板等の被加工物の表面に付着した付着物を除去（洗浄）することができる。しかも、純水または超純水のみを使用しても基板を加工することができ、これによって、基板の表面に電解質等の余分な不純物が付着したり、残留したりすることをなくして、除去加工後の洗浄工程を簡略化できるばかりでなく、廃液処理の負荷を極めて小さくすることができる。また、本発明によれば、被加工物の不良品化を招いていたピットの発生を防止することができる。

## 【図面の簡単な説明】

## 【図 1】

銅配線基板の一製造例を工程順に示す図である。

## 【図 2】

加工電極及び給電電極を基板（被加工物）に近接させ、加工電極及び給電電極と基板（被加工物）との間に純水又は電気伝導度が $500\mu\text{S}/\text{cm}$ 以下の液体

を供給するようにしたときの本発明による電解加工の原理の説明に付する図である。

【図 3】

本発明の実施の形態の電解加工装置の系統図である。

【図 4】

ガス溶解速度及びガス溶解量と水圧の関係を示すグラフである。

【図 5】

ガス溶解量と液体（溶媒）の水温の関係を示すグラフである。

【図 6】

初期溶存ガス量が異なる液体中に溶解するガスのガス溶解容量と水圧の関係を示すグラフである。

【図 7】

ガス溶解速度と溶媒（液体）中の既存ガス量の関係を示すグラフである。

【図 8】

本発明の他の実施の形態における電解加工装置を備えた基板処理装置の構成を示す平面図である。

【図 9】

図 8 に示す基板処理装置の電解加工装置を示す平面図である。

【図 10】

図 9 の縦断面図である。

【図 11】

図 11（a）は、図 9 の電解加工装置における自転防止機構を示す平面図、図 11（b）は、図 11（a）の A-A 線断面図である。

【図 12】

図 9 の電解加工装置における電極部を示す平面図である。

【図 13】

図 12 の B-B 線断面図である。

【図 14】

図 13 の部分拡大図である。

**【図 15】**

図 15 (a) は、異なる材料を成膜した基板の表面に電解加工を施したときに流れる電流と時間の関係を、図 15 (b) は、同じく印加される電圧と時間の関係をそれぞれ示すグラフである。

**【図 16】**

電解加工中におけるイオン交換体と基板との接触状態の説明に付する断面図である。

**【図 17】**

電解加工中に、電極部のスクロール運動に加えて基板保持部を Y 方向に所定の距離だけ移動させることで、加工量のバラツキをなくすることができる原理の説明に付する図である。

**【図 18】**

電解加工中に、電極部のスクロール運動に加えて基板保持部を Y 方向に所定の距離だけ移動させることで、加工量のバラツキをなくすることができるようにした電解加工方法の説明に付する図である。

**【図 19】**

ガス溶解量とガス溶解時間との関係を示すグラフである。

**【図 20】**

ガスが溶解する溶媒（液体）の体積が異なる場合のガス溶解速度及びガス溶解量と水圧との関係を示すグラフである。

**【図 21】**

接触幅が異なる電極 1～4 を使用して電解加工を行った時におけるピット数と相対速度の関係を示すグラフである。

**【図 22】**

接触幅が異なる電極 1～4 を使用して電解加工を行った時におけるピット数と電極（イオン交換体）接触時間の関係を示すグラフである。

**【図 23】**

スクロール運動の解析の説明に付する図である。

**【図 24】**

スクロール運動に同期して電源を ON / OFF 制御する時の回転角と ON / OFF 時の関係を示す図である。

【符号の説明】

- 6 銅膜（導電体膜）
- 7 シード層
- 1 0 被加工物
- 1 2 a, 1 2 b イオン交換体
- 1 4 加工電極
- 1 6 給電電極
- 1 8 液体
- 2 0 水分子
- 2 2 水酸化物イオン
- 2 4 水素イオン
- 2 6 反応物質
- 3 0 ロード・アンロード部
- 3 2 反転機
- 3 4 電解加工装置
- 3 6 搬送ロボット
- 3 8 モニタ部
- 4 0 アーム
- 4 2 基板保持部
- 4 4 可動フレーム
- 4 6 電極部
- 4 8 電源
- 5 0 上下動用モータ
- 5 2 ボールねじ
- 5 4 ボールねじ
- 5 6 往復動用モータ
- 5 8 自転用モータ

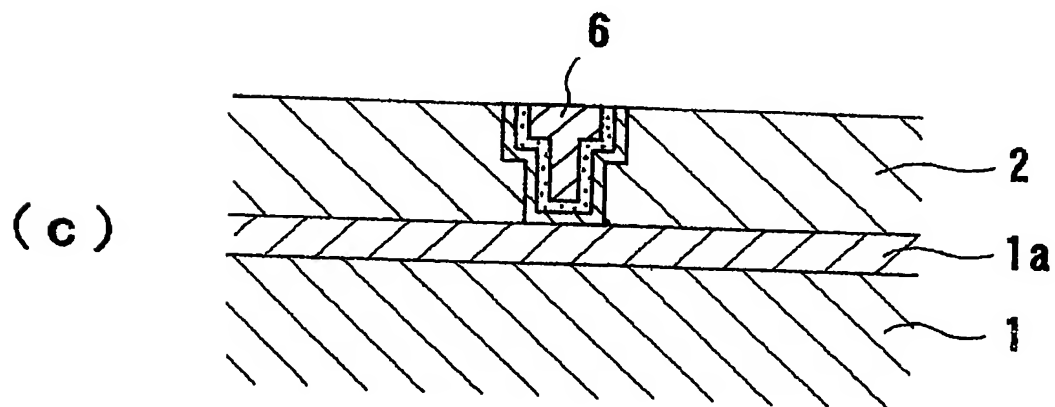
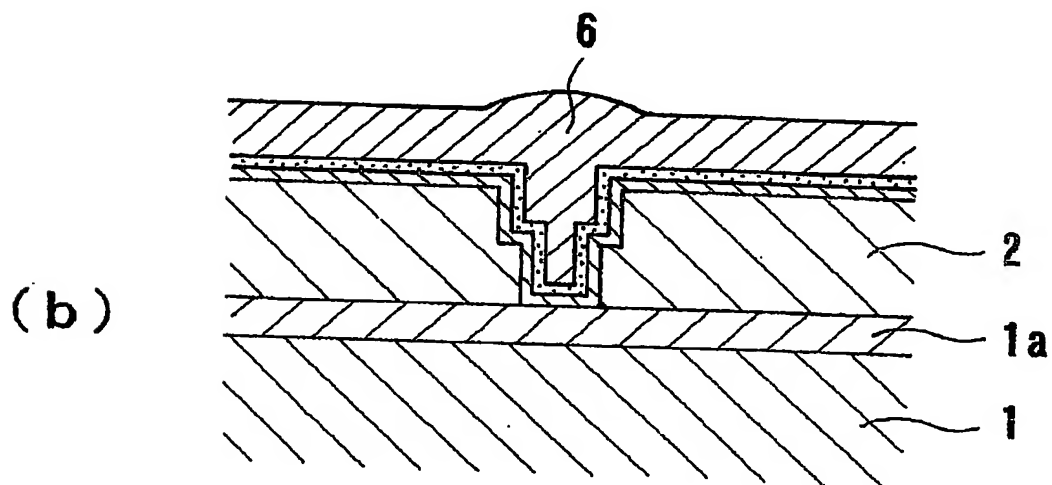
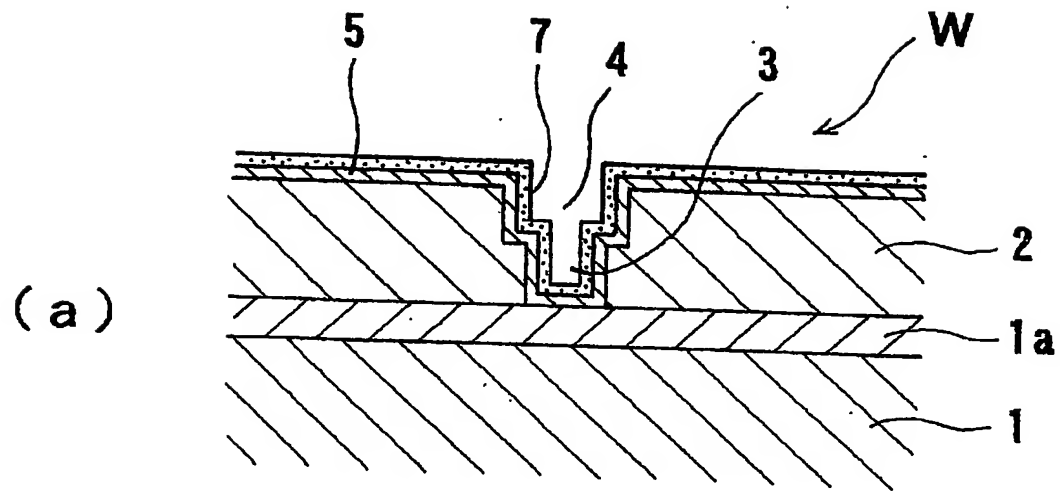
6 0 中空モータ  
6 2 主軸  
6 4 駆動端  
6 6 自転防止機構  
6 8, 7 0 凹所  
7 2, 7 4 軸受  
7 6, 7 8 軸体  
8 0 連結部材  
8 2 電極部材  
8 4 ベース  
8 5 保持プレート  
8 6 電極  
8 8, 9 0 イオン交換体  
9 2 流路  
9 4 純水供給管  
9 6 純水噴射ノズル  
9 8 噴射口  
1 0 0 貫通孔  
1 2 0 純水供給系  
1 2 2 純水ライン  
1 2 4 熱交換器  
1 2 6 脱気装置  
2 0 0 耐圧容器  
2 0 2 装置本体  
2 0 4 高圧液体供給系  
2 0 6 液体排出系  
2 0 8 補助ライン系  
2 1 0 加工電極  
2 1 2 給電電極

- 2 1 4, 2 1 6 イオン交換体
- 2 1 8 電極板
- 2 2 0 基板保持部
- 2 3 2 電源
- 2 4 0 純水ライン
- 2 4 2 熱交換器
- 2 4 4 脱気装置
- 2 4 8 初期給水ライン
- 2 5 0 高圧純水製造装置
- 2 5 4 高圧純水供給ライン
- 2 5 8 排水ライン
- 2 6 2 補助ライン
- 2 6 6 不活性ガス供給ライン
- 2 6 8 リリーフ弁
- 2 7 0 安全ライン

【書類名】

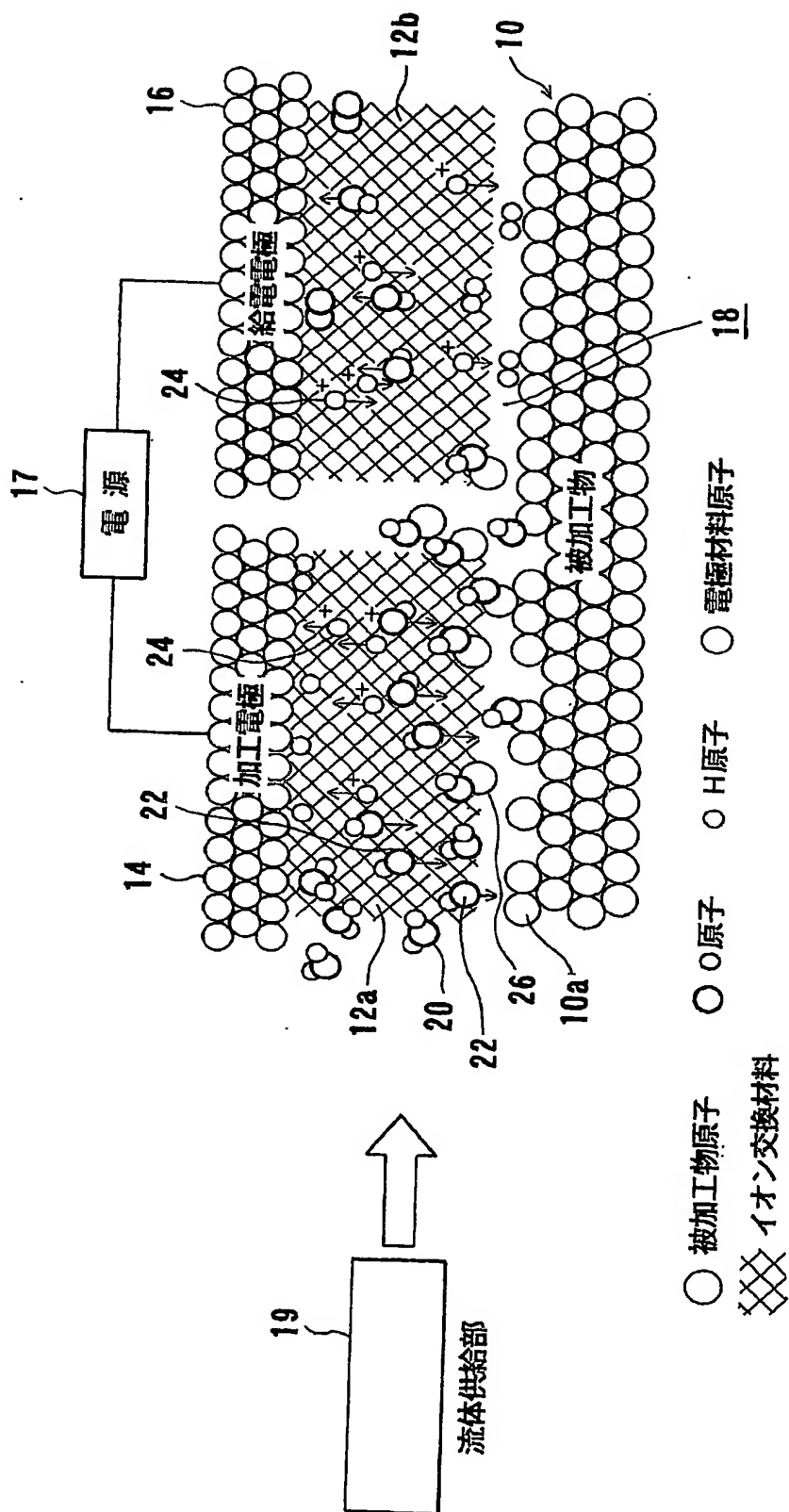
凶面

【図 1】

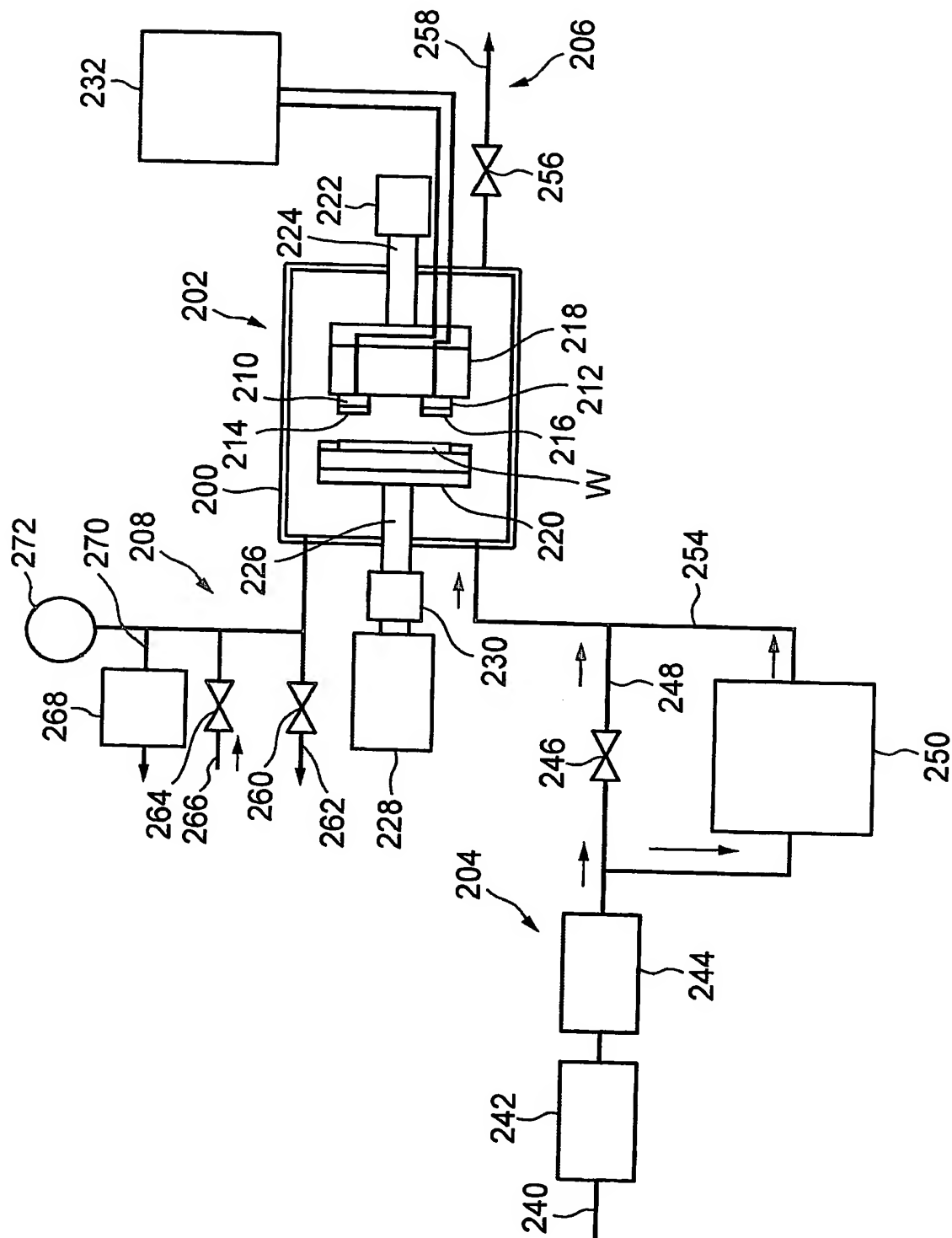




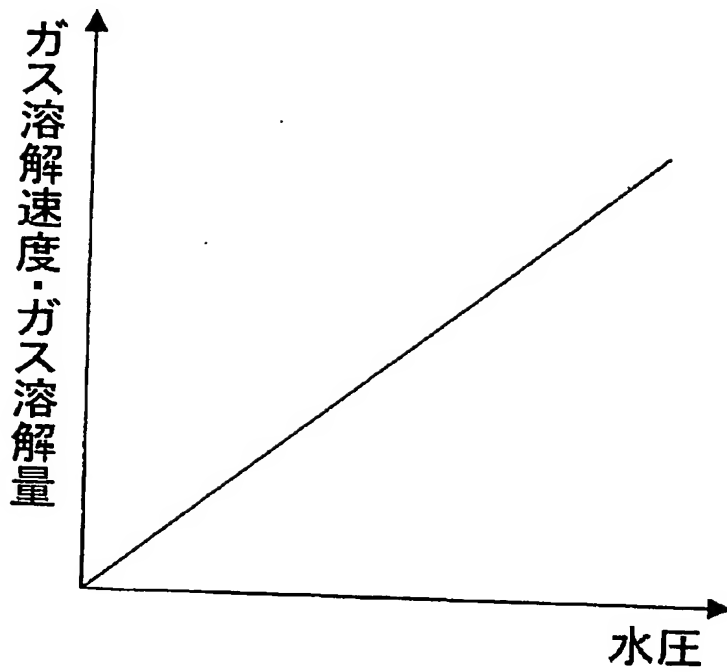
【図2】



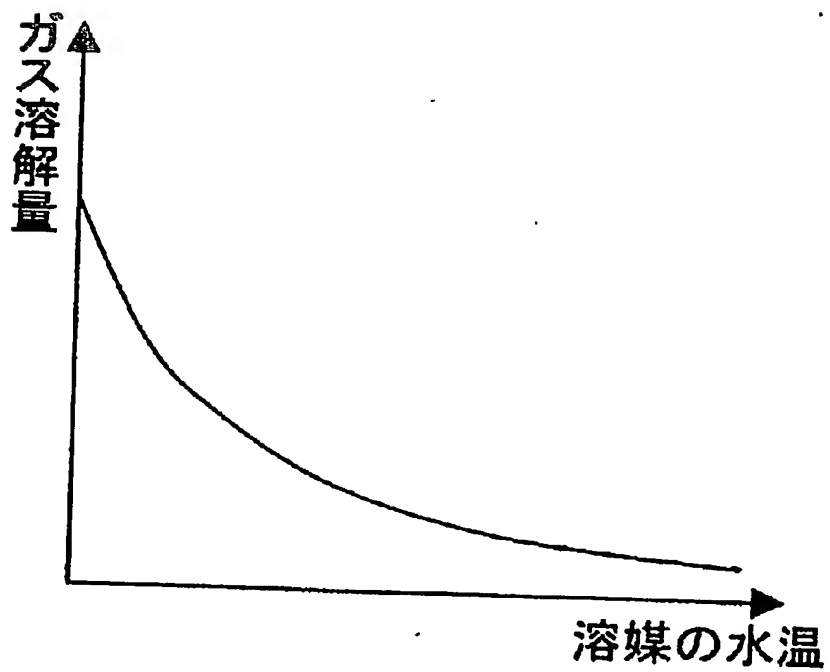
【図 3】



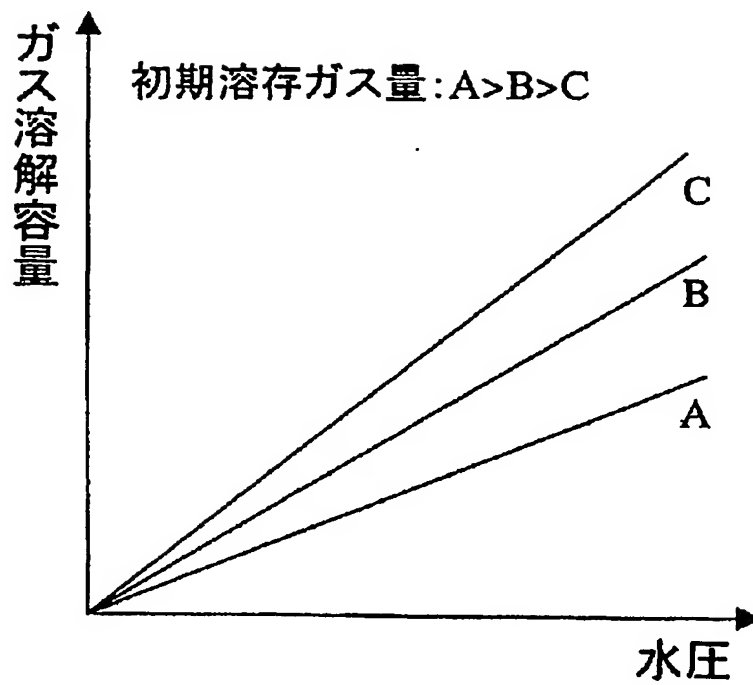
【図 4】



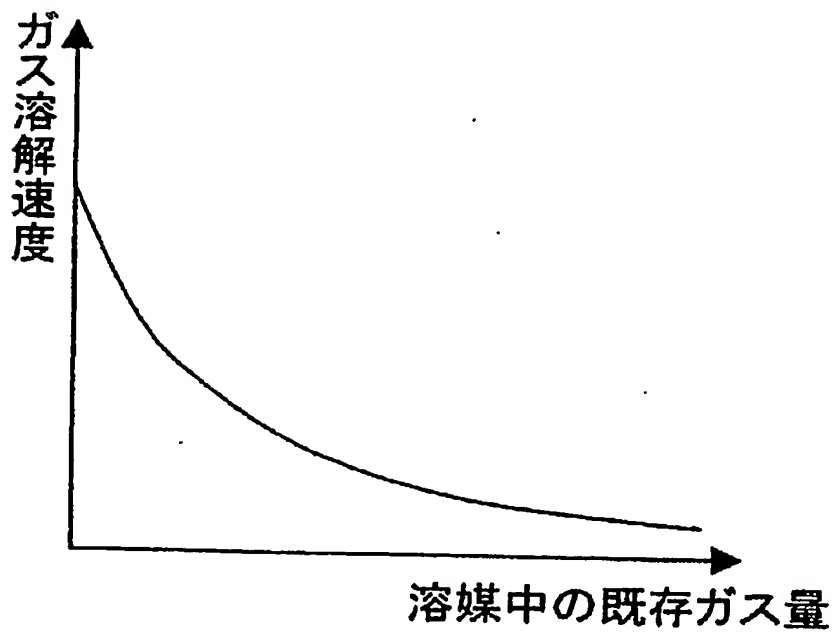
【図 5】



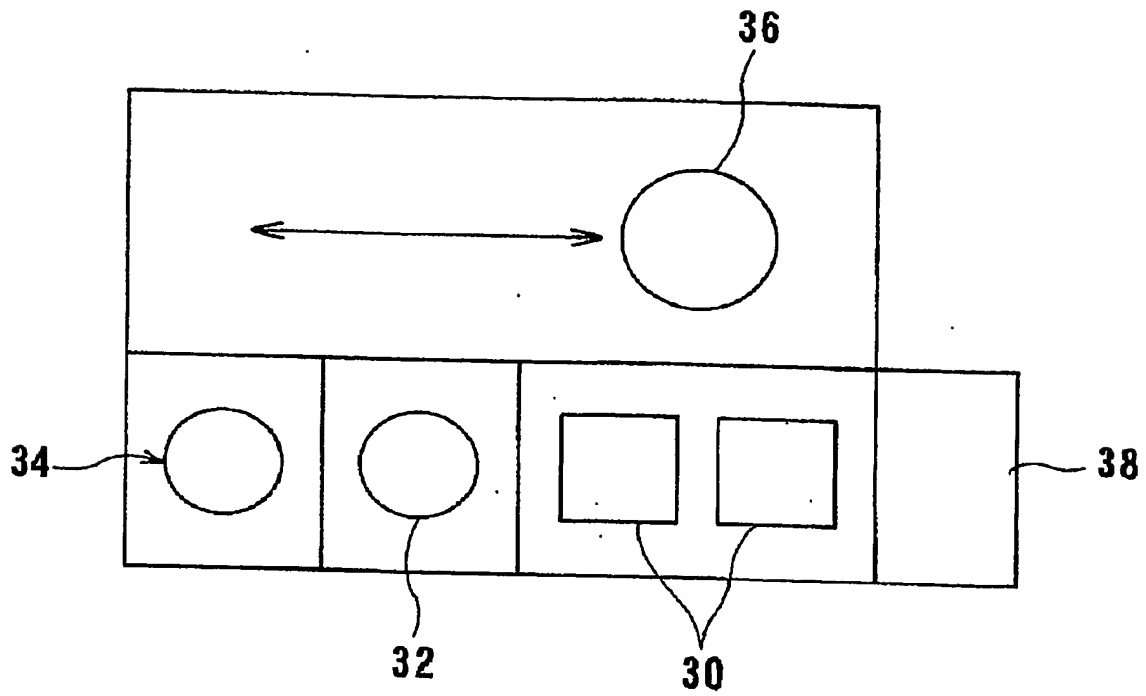
【図6】



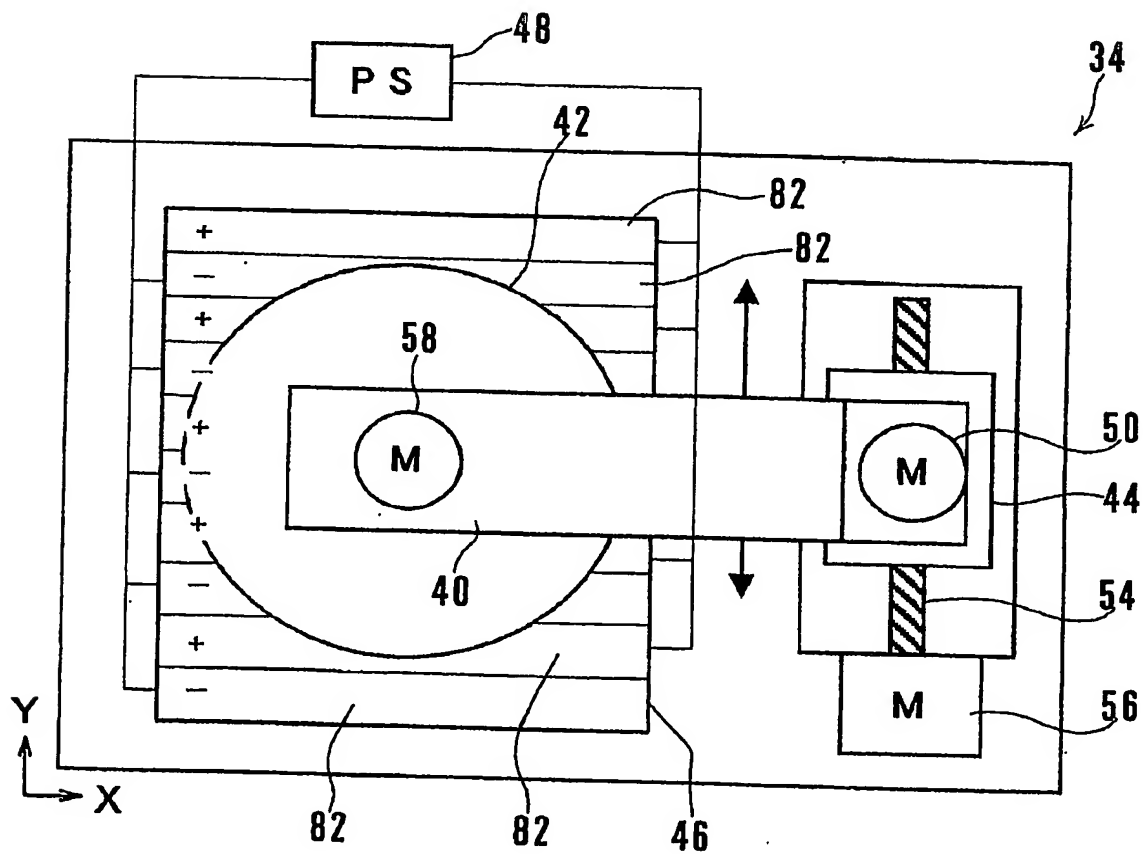
【図7】



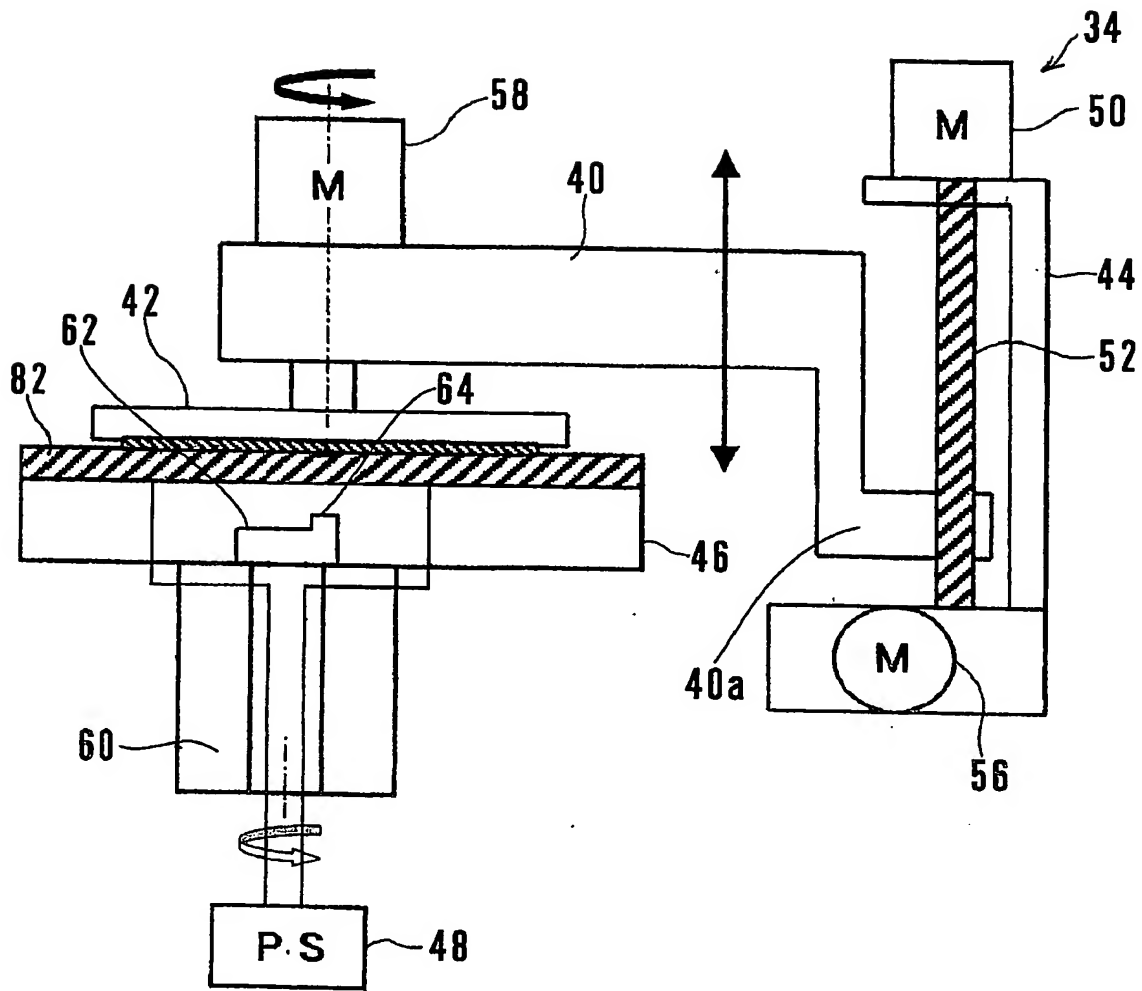
【図 8】



【図 9】

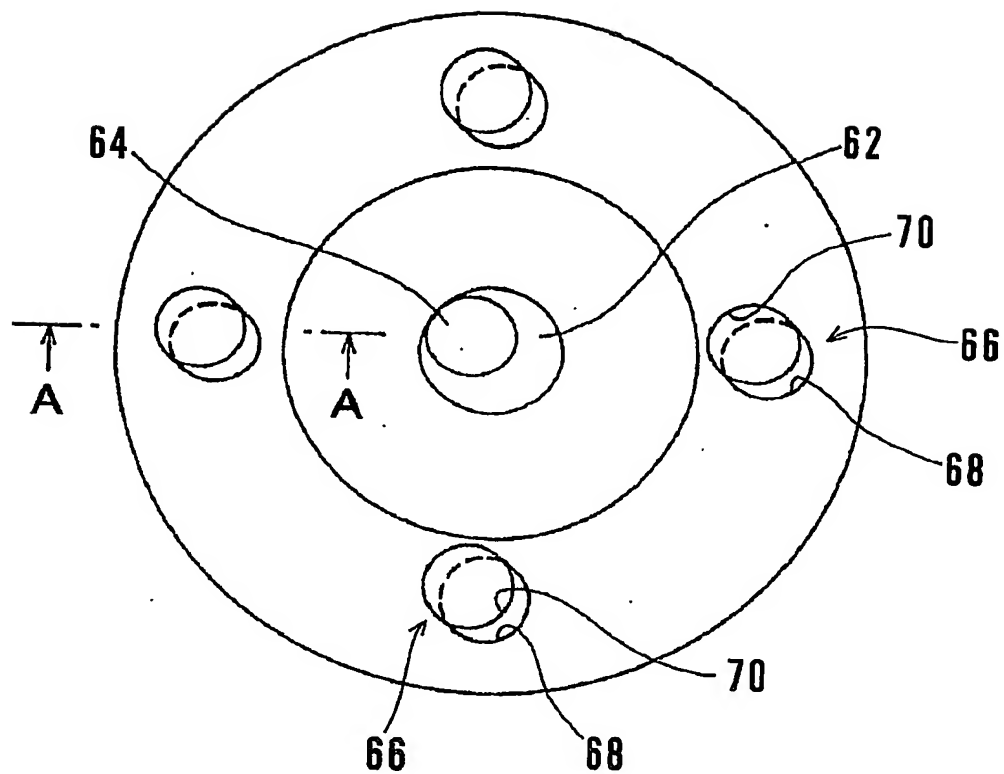


【図 10】

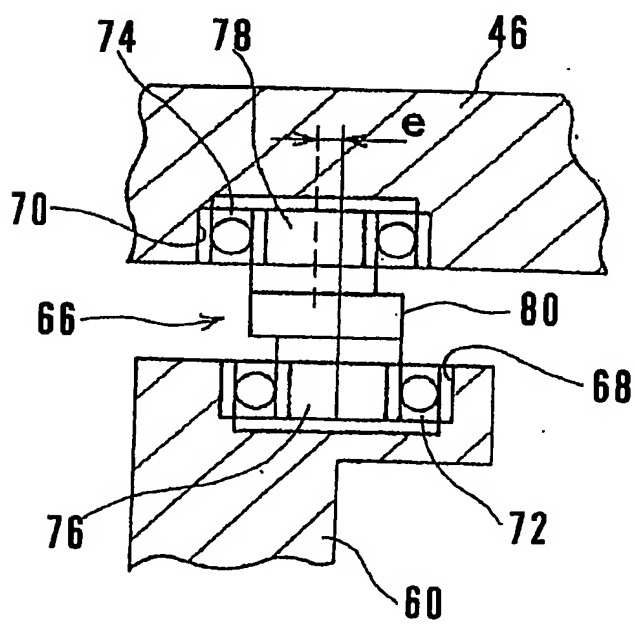


【図11】

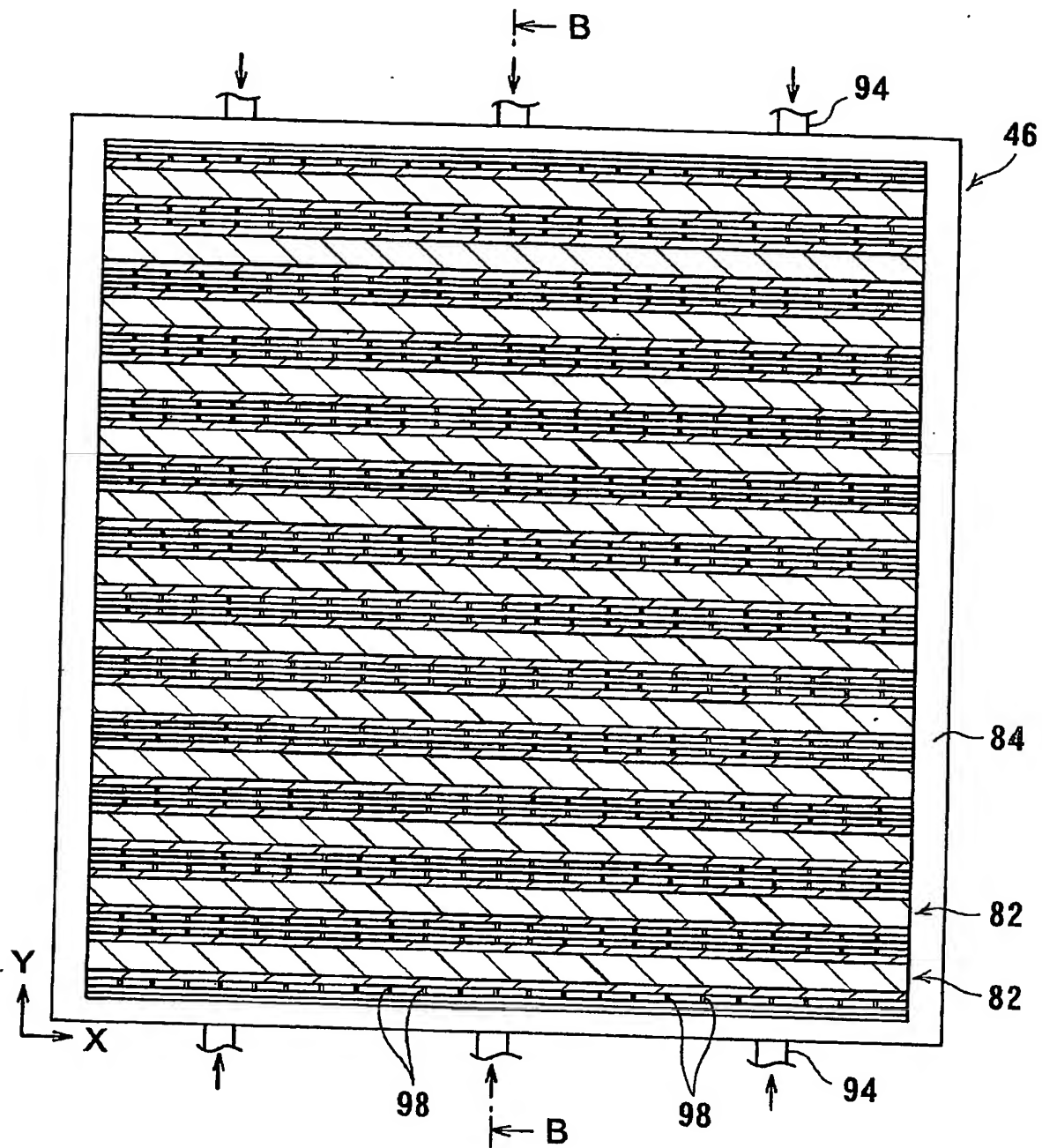
(a)



(b)

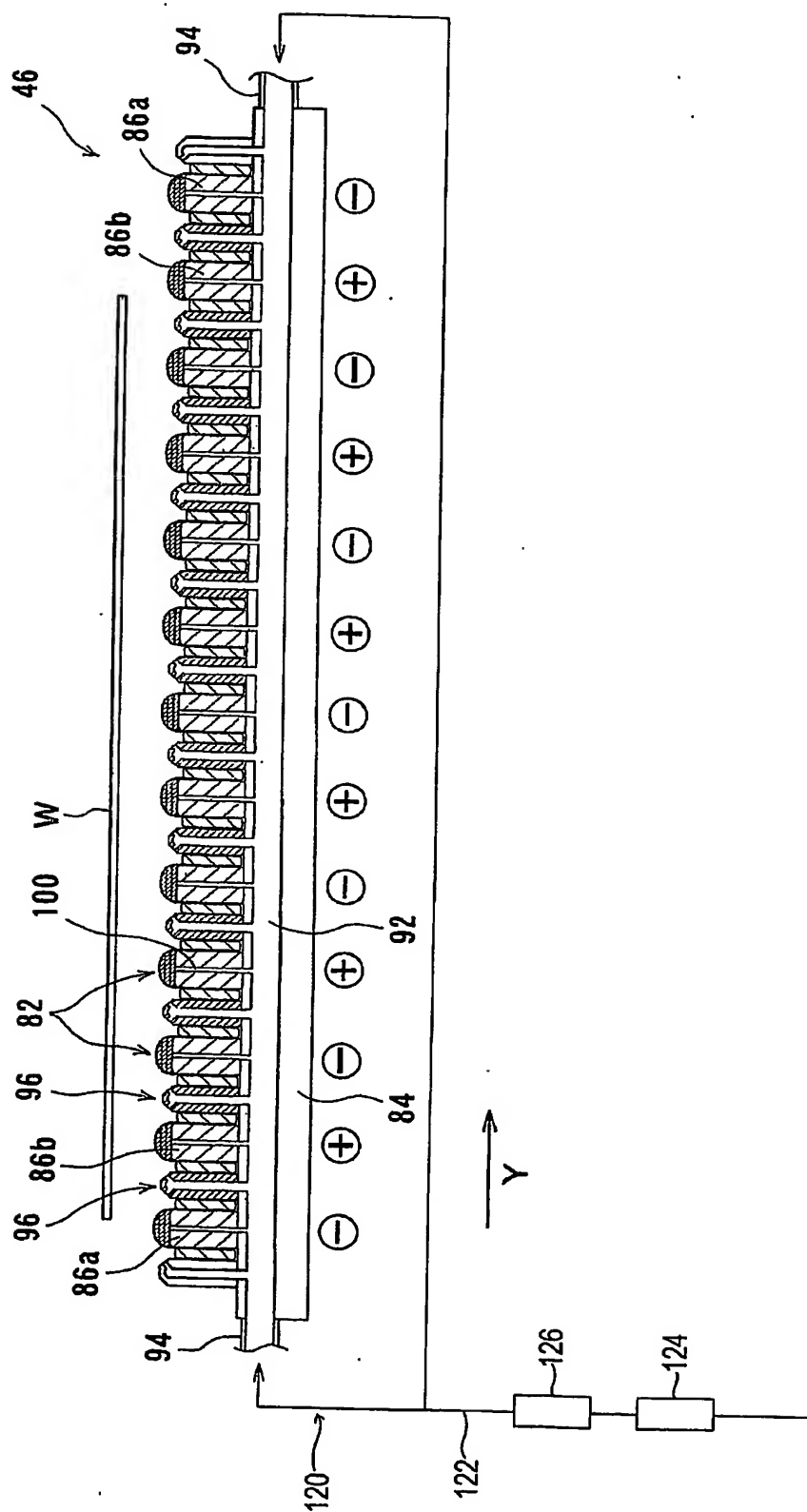


【図 12】

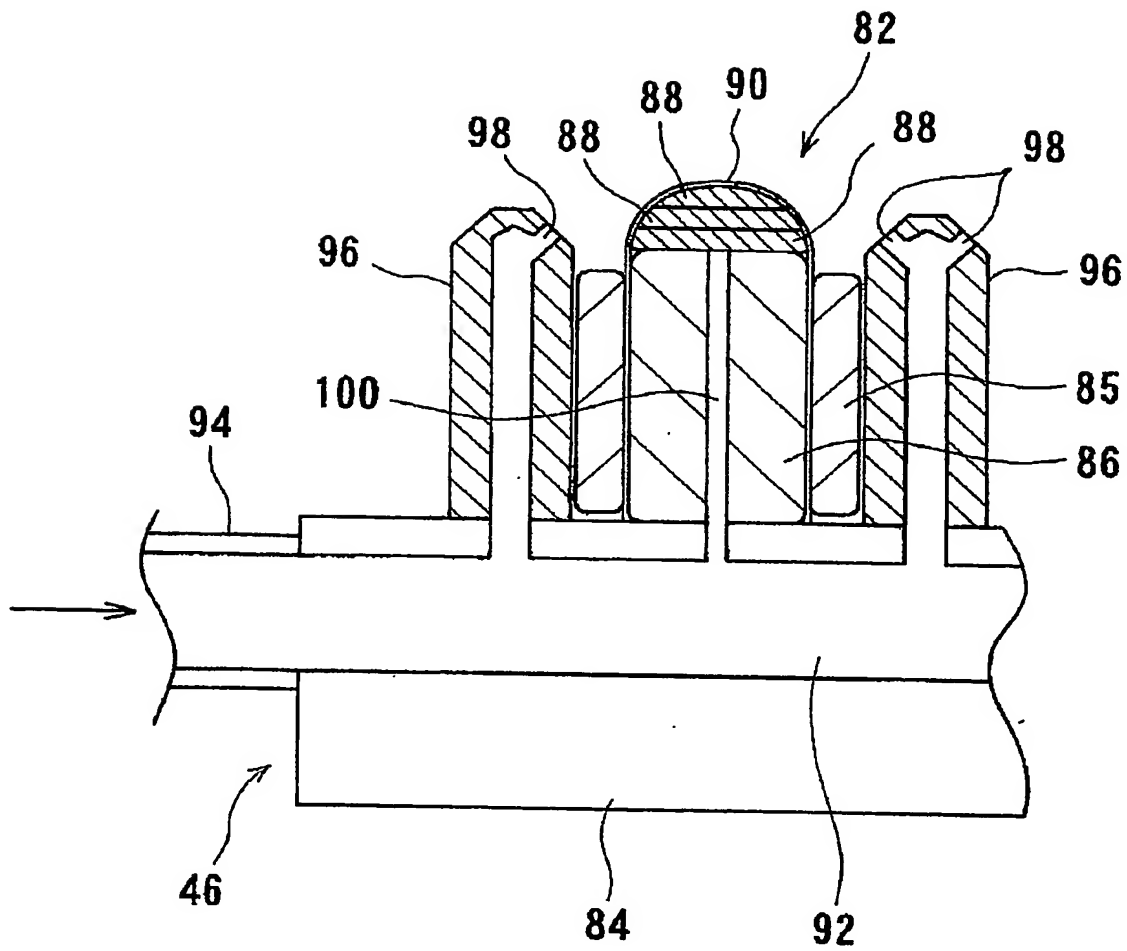




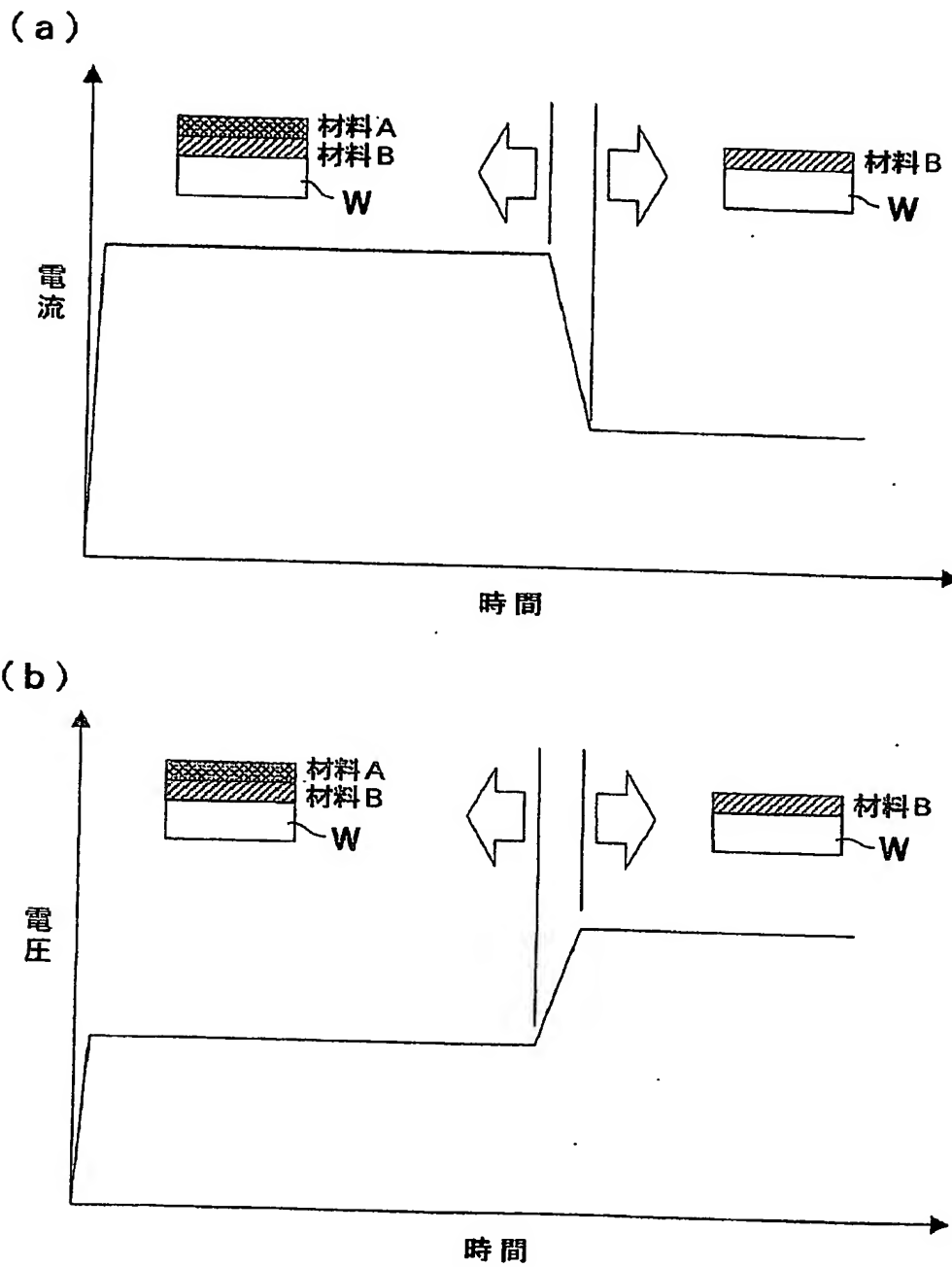
【図 13】



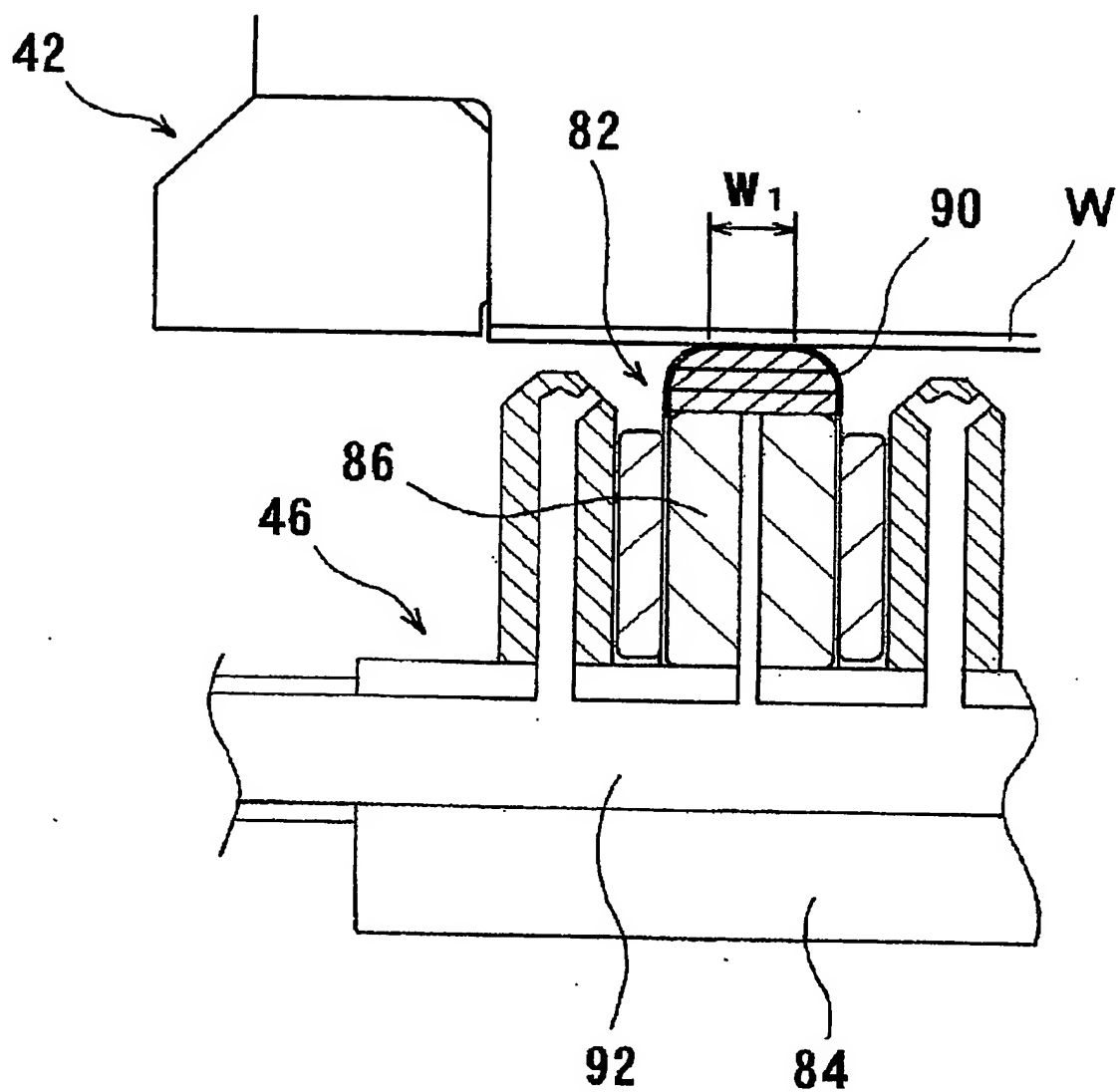
【図 14】



【図 15】

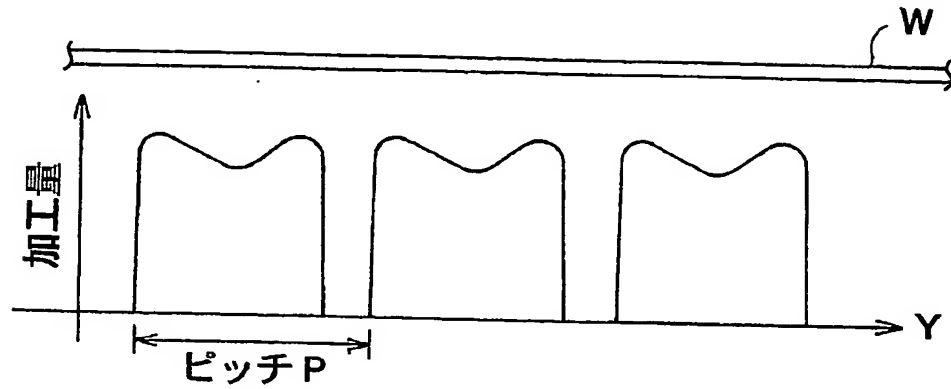


【図 16】

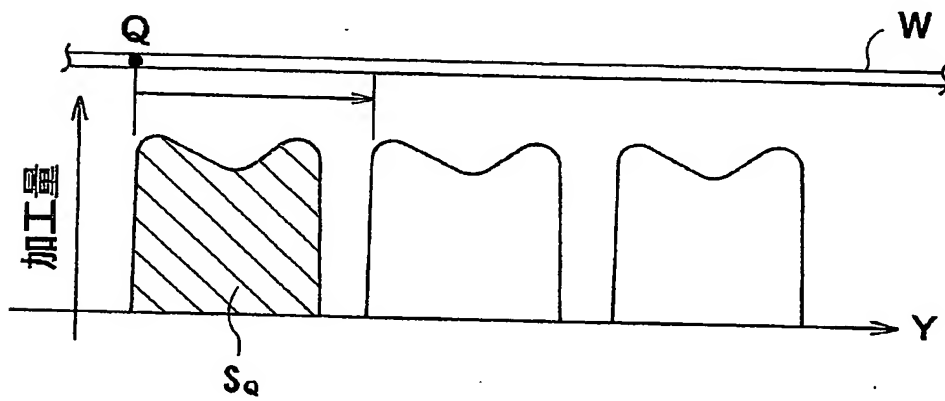


【図 17】

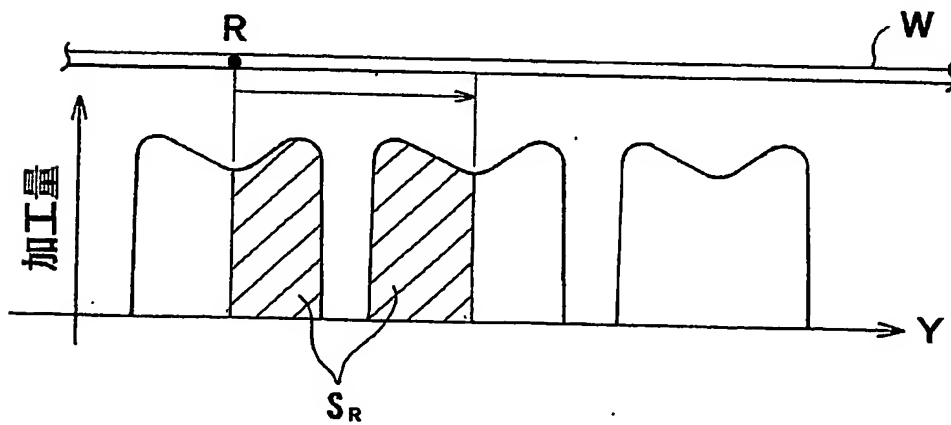
(a)



(b)

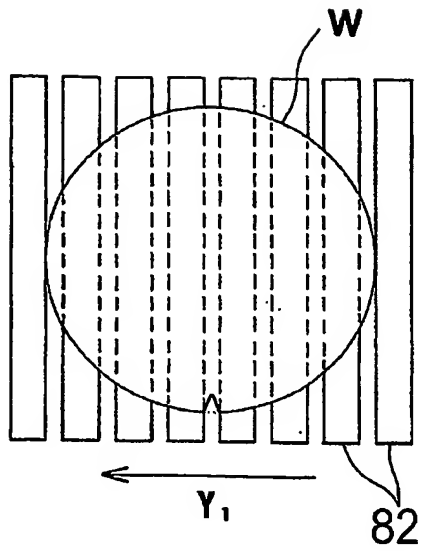


(c)

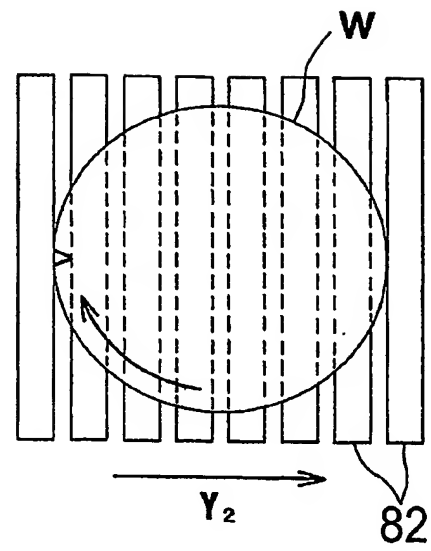


【図18】

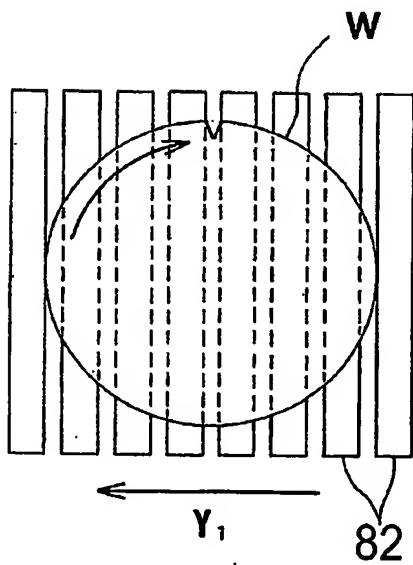
(a)



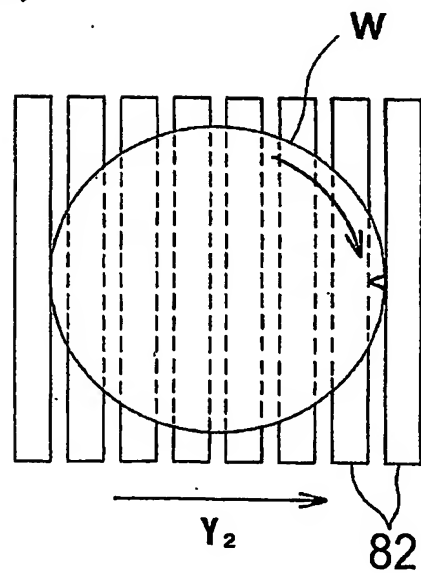
(b)



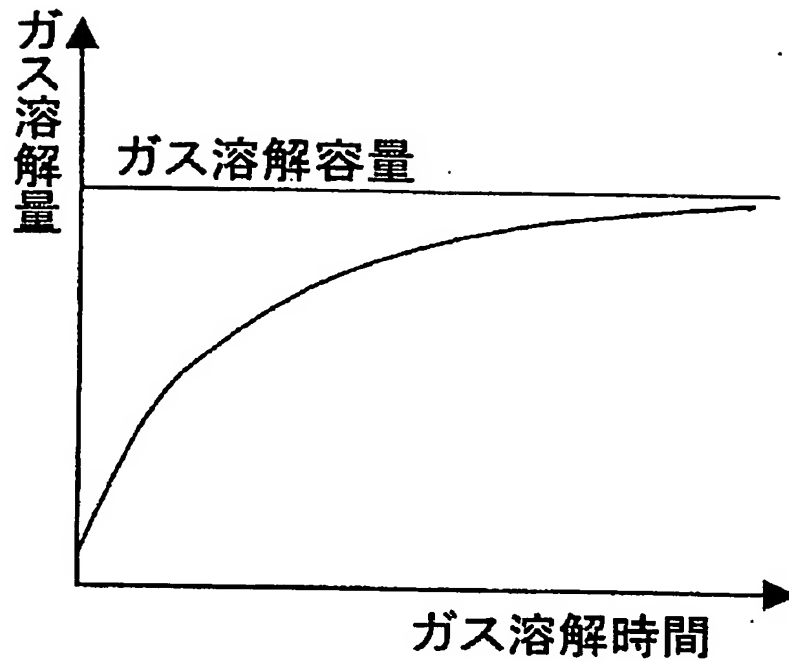
(c)



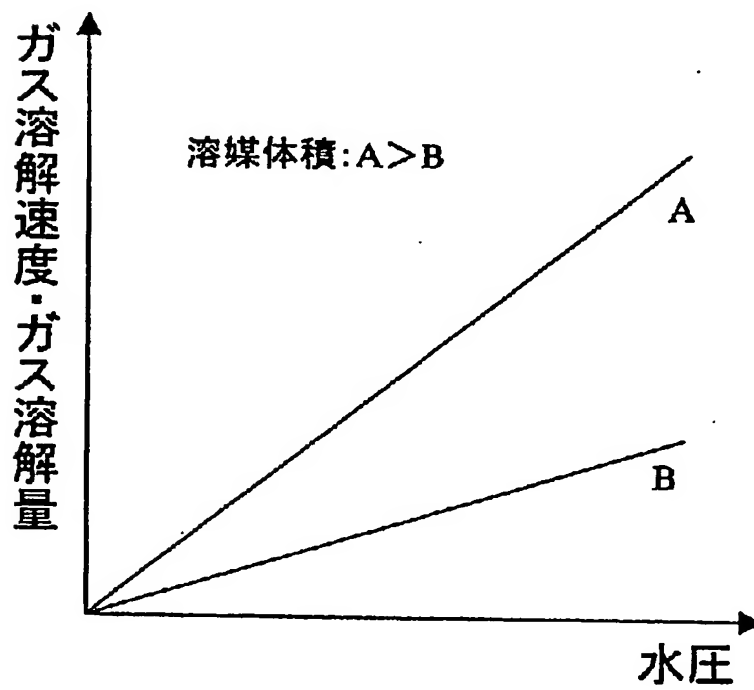
(d)



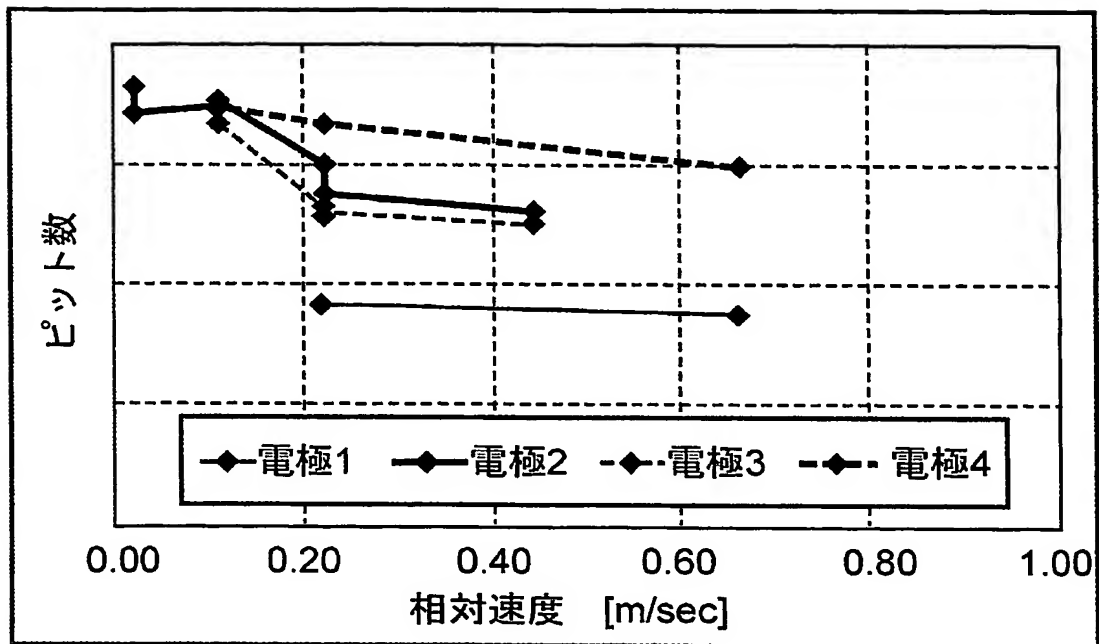
【図 19】



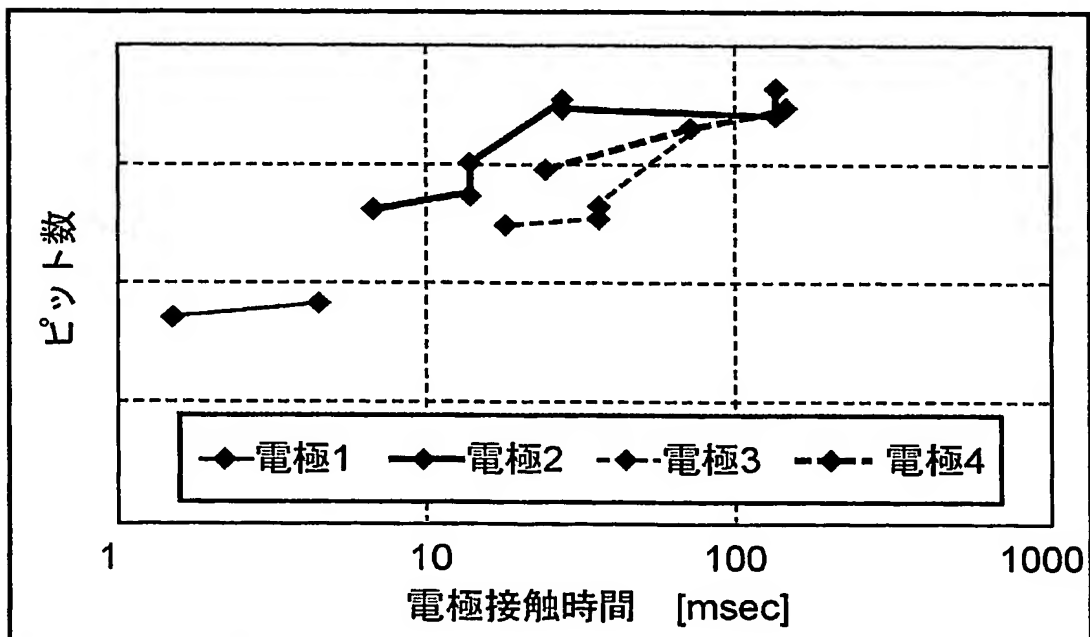
【図 20】



【図 2 1】

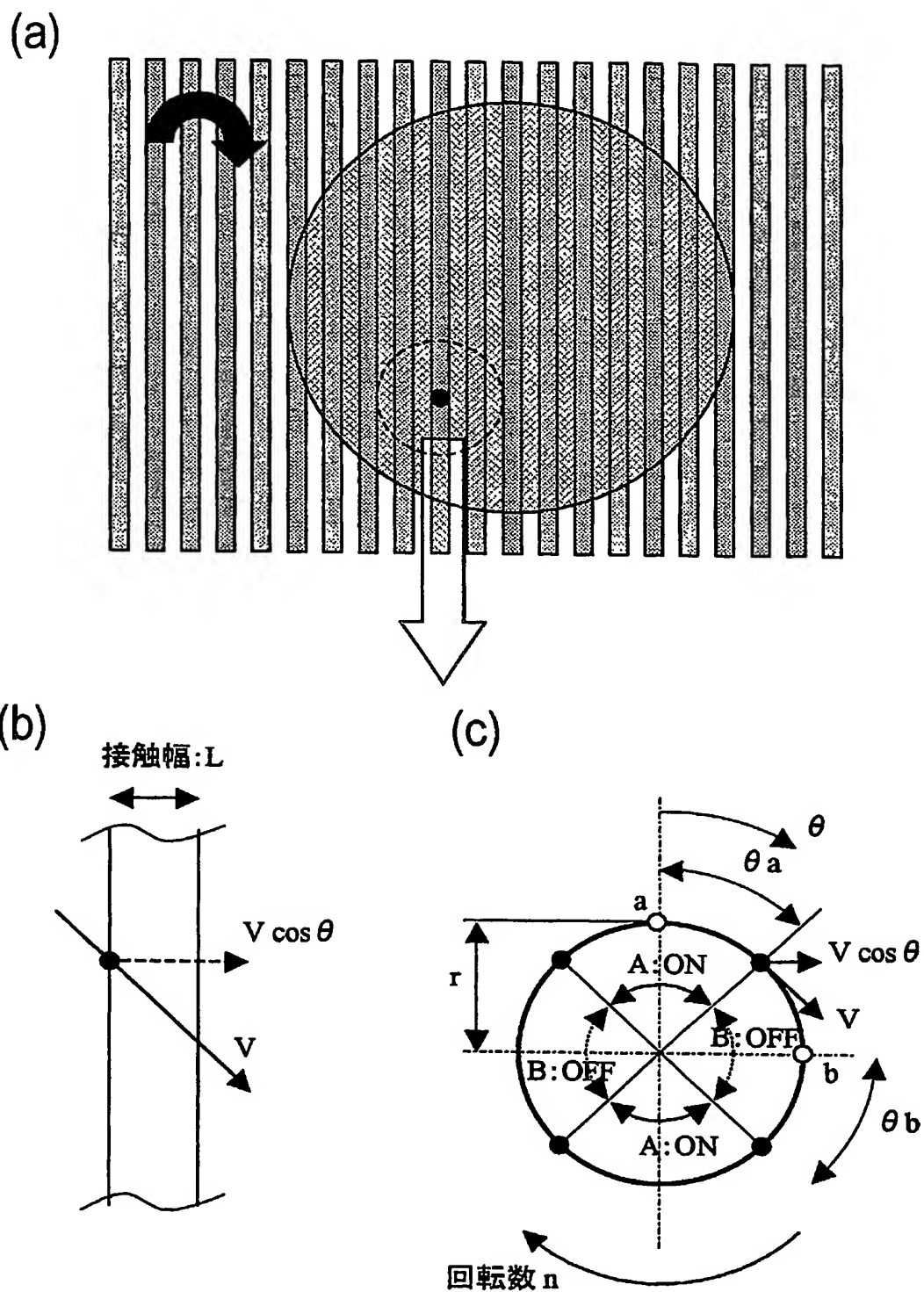


【図 2 2】

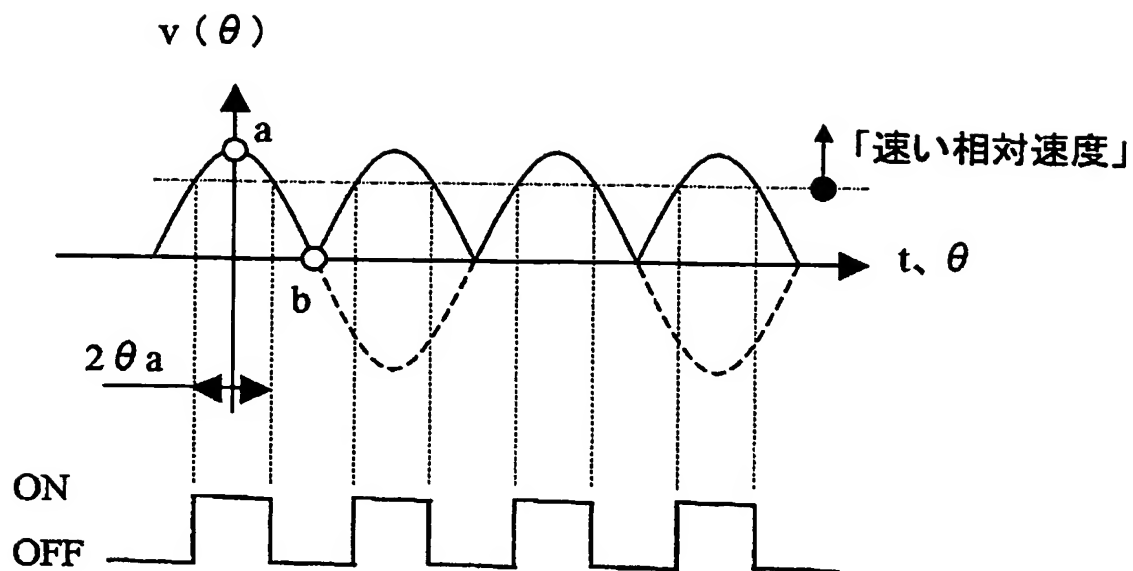




【図 23】



【図 24】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 薬液を使用することなく電解加工を行うことができ、さらには、被加工物の不良品化を招くと考えられるピットの発生を効果的に防止することができるようにする。

【解決手段】 被加工物に近接自在な加工電極 210 と、被加工物に給電する給電電極 212 と、加工電極 210 と給電電極 212 との間に電圧を印加する電源 232 と、加工電極 210 及び給電電極 212 を内部に収納した密閉可能な耐圧容器 200 と、耐圧容器 200 内に高圧液体を供給する高圧液体供給系 204 を有する。

【選択図】 図 3

特願 2003-197408

ページ： 1/E

出願人履歴情報

識別番号

[000000239]

1. 変更年月日  
[変更理由]

1990年 8月31日

新規登録

住所

東京都大田区羽田旭町11番1号

氏名

株式会社荏原製作所